



# ANALYSE AF 'GRØNNE' PROTEINER TIL FØDEVARER

LOUISE JUUL PEDERSEN, ANDERS HAUER MØLLER & TRINE KASTRUP DALSGAARD

DCA RAPPORT NR. 218 • AUGUST 2023 • RÅDGIVNING



AARHUS  
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG



# Analyse af 'grønne' proteiner til fødevarer

---

DCA RAPPORT NR. 218 · AUGUST 2023 · RÅDGIVNING

## REDAKTØRER:

Louise Juul Pedersen<sup>1</sup>, Anders Hauer Møller<sup>1</sup> & Trine Kastrup Dalsgaard<sup>1</sup>

## FORFATTERE AF DATABLADE FOR ALTERNATIVE PROTEINKILDER

Anders Hauer Møller<sup>1</sup>, Louise Juul<sup>1</sup>, Trine Kastrup Dalsgaard<sup>1</sup>, Nina Aagaard Poulsen<sup>1</sup>, Annette Bruhn<sup>3</sup>, Marianne Hammershøj<sup>1</sup>, Jan Værum Nørgaard<sup>2</sup>, Sandra Beyer Gregersen<sup>1</sup> og Simone Bleibach Alpi-ger<sup>1</sup>, Margrethe Therkildsen<sup>1</sup> og Jette Feveile Young<sup>1</sup>, og Lotte Bach Larsen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut for Fødevarer

<sup>2</sup>Institut for Husdyr- og veterinærvidenskab

<sup>3</sup>Institut for Ecoscience

Aarhus Universitet

# Datablad

---

Titel:	Analyse af 'grønne' proteiner til fødevarer
Serietitel og nummer:	DCA rapport nr. 218
Rapporttype:	Rådgivningsrapport
Udgivelsesår:	August 2023. 1. udgave. 1. oplag
Redaktører:	Postdoc Louise Juul Pedersen, Postdoc Anders Hauer Møller & Lektor Trine Kastrup Dalsgaard, Institut for Fødevarer, AU
Forfattere Databladene:	Anders Hauer Møller, Louise Juul, Trine Kastrup Dalsgaard, Nina Aagaard Poulsen, Annette Bruhn, Marianne Hammershøj, Jan Værum Nørgaard, Sandra Beyer Gregersen og Simone Bleibach Alpiger, Margrethe Therkildsen og Jette Feveile Young, og Lotte Bach Larsen
Fagfællebedømmelse:	Lektor Ulla Kidmose, Institut for Fødevarer, AU
Kvalitetssikring, DCA:	Majbrit Guldborg & Susanne Hansen, DCA Centerenheden, AU
Rekvirent:	Landbrugsstyrelsen, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM)
Dato for bestilling/levering:	24.11.2022/ 24.04.2023
Journalnummer:	2022-0360911
Finansiering:	Besvarelsen er udarbejdet som Allonge til "Rammeaftale om forskningsbaseret myndighedsbetjening" indgået mellem Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM) og Aarhus Universitet og er en supplerende opgave til "Ydelsesaftalen Fødevarer og forbrugeradfærd 2022-2025".
Ekstern kommentering:	Ja. Kommentarket kan findes via dette <a href="#">LINK</a>
Eksterne bidrag:	Nej.
Kommentarer til bestilling:	Opdatering af IFRO-rapport 2018 - Kvantificering af forventede fremtidige proteinmarkeder og kortlægning af potentialer i forskellige nye proteinkilde. Morten Gylling (red.), John Hermansen (red.). Link: <a href="https://curis.ku.dk/ws/files/197728537/IFRO_Udredning_2018_08.pdf">https://curis.ku.dk/ws/files/197728537/IFRO_Udredning_2018_08.pdf</a>
Kommentarer til besvarelse:	Opdateringen fra ovenstående IFRO-rapport gælder kun for fødevarerdel af denne. Fokusset i denne rapport er således på fødevarerprotein fra forskellige alternative biomasse. Rapporten indeholder bl.a. datablade for

alternative proteiner til fødevarer, disse afsnit har forskellige forfattere der rækker ud over redaktørerne til rapporten.

Rapporten præsenterer resultater, primært fra litteraturreview.

Citeres som:	Juul, L, Møller, AH & Dalsgaard, TK, (2023). Analyse af 'grønne' proteiner til fødevarer. 93 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 24.04.2023.
Ophavsret:	Rapporten er omfattet af gældende regler om ophavsret
Layout:	Rapportkoordinator Jette Illkjær, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, AU
Forsidefoto:	Colourbox
Sideantal:	114
ISBN:	Trykt version: 978-87-94420-12-9, Netversion: 978-87-94420-13-6
ISSN:	2248-1684
Tryk:	DigiSource.dk
Internetversion:	<a href="https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport218.pdf">https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport218.pdf</a>

# Indholdsfortegnelse

<b>1. Baggrund og afgrænsning</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Sammendrag (opsummering)</b> .....	<b>7</b>
<b>3. Introduktion</b> .....	<b>17</b>
<b>4. Fødevarerprotein – indtag, forsyning, import, klima- og miljøeffekter og ingredienser</b> .....	<b>18</b>
4.1 Fødevarerindtag og forbrugerpræferencer .....	18
4.1.1 Fødevarer- og næringsstofindtag .....	18
4.1.2 Forbrug og forbrugerpræferencer.....	20
4.2 Udvikling i proteinforsyning lokalt og globalt.....	23
4.2.1 Dansk produktion og import af proteinkilder .....	26
4.3 Miljø- og Klimaeffekter.....	29
4.4 Proteiningredienser.....	31
<b>5. Alternative proteinkilder og datablade</b> .....	<b>35</b>
5.1 Alternative proteinkilder.....	35
5.1.1 Novel food-lovgivning.....	36
5.2 Fødevarer- og proteinkvalitet.....	37
5.2.1 Sensoriske egenskaber .....	37
5.2.2 Funktionelle egenskaber .....	37
5.2.3 Ernæringsmæssige egenskaber .....	38
5.3 Forarbejdning - Processeringsmetoder .....	44
5.3.1 Tørfractionering.....	45
5.3.2 Vådeekstraktion.....	45
5.3.3 Fermentering.....	46
5.4 Datablade.....	47
5.4.1 Bælgplanter til både direkte konsum og raffinering .....	49
5.4.2 Proteiner frembragt ved raffinering af grønne afgrøder såsom græsser .....	53
5.4.3 Proteiner fra svampe.....	57
5.4.4 Proteiner fra tang .....	61
5.4.5 Proteiner fra marine ingredienser - Blåmuslinger som eksempel.....	65
5.4.6 Proteiner fra rapsfrø .....	69
5.4.7 Kartoffelprotein .....	73
5.4.8 Mæsk/mask .....	76
5.4.9 Protein fra sidestrømme fra slagterier.....	78
5.4.10 Proteiner fra mikroalger.....	80
5.4.11 Single cell protein.....	83
5.4.12 Proteiner fra præcisionsfermentering.....	86
5.4.13 Protein fra kultiveret kød.....	90
5.4.14 Protein fra cellulær mælk .....	93
5.4.15 Proteiner fra insekter.....	97
<b>6. Referencer</b> .....	<b>101</b>

# 1 Baggrund og afgrænsning

Danmark har i mange år fokuseret på en stor animalsk produktion, hvilket har været godt for dansk landbrug, men ensidet i forhold til produktionen af fødevarerprotein. Derfor er der et stort behov for at forstå, hvilke andre mulige proteinkilder, der er til rådighed, deres produktionspotentiale, deres teknologiske udviklingstrin, samt deres fødevarer kvalitet med hensyn til næringsværdi, smag og funktionelle egenskaber. Rapporten indgår som en del af Ministeret for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri (FVM)s baggrundsmateriale for udarbejdelse af en strategi for grønne proteiner til dyr og mennesker.

Den indeholder en faglig beskrivelse af udviklingen af grønne og alternative proteiner til fødevarer, herunder med angivelse af status i Danmark samt forventede fremtidige potentialer. Der er fokuseret på både alternative animalske og vegetabiliske fødevarerproteiner, i forhold til de globale og lokale markeder. For den vegetabiliske del indgår en vurdering af, hvilke proteinafgrøder, der kan gå direkte til fødevarer, og hvilke der kræver forarbejdning.

Denne rapport er udarbejdet på grundlag af foreliggende litteratur samt viden fra relevante forskere ved Aarhus Universitet, der har været involveret i udviklingsaktiviteter for de enkelte proteinkilder eller noget, der ligger op ad emnerne, hvilket fremgår klart af databladene i slutningen af rapporten.

Rapporten giver en generel introduktion til proteinforsyning, udviklingen i kost- og proteinindtag, forbrugerpræferencer samt deres indvirkning på klima og miljøeffekter. Derudover beskrives import af protein med fokus på soja samt ingrediensmarkedet nationalt og globalt. Rapporten er afgrænset til at omhandle grønne og alternative proteiner til fødevarer. Rapporten beskriver derfor modenheten af teknologien for de enkelte alternative biomasser, proteinets kvalitet i forhold til f.eks. funktionelle og sensoriske egenskaber, ernæringsværdi i form af proteinfordøjelighed, herunder også indhold af antinæringsstoffer for de forskellige proteinkilder. Der gives bud på teknologiens modenhet, og hvilke barrierer, der er for at nå i mål med udvikling og forarbejdning af de beskrevne kilder. I nogle tilfælde beskrives mikronæringsstoffer, men dette har ikke været fokuset i denne rapport og bør evalueres separat.

## 2 Sammendrag (opsummering) og perspektivering

Rapporten indeholder datablade for en række forskellige alternative proteinkilder, der potentielt kan bidrage med protein til fødevarer. I tabel 2.1 er de forskellige proteinkilder opsummeret. For de forskellige kilder er anvendelsesmuligheder, produktionspotentialer, klima- og miljøeffekter, og teknologiernes modenhed kort angivet. Sammendraget er lavet med udgangspunkt i databladene, som findes i afsnit 5.4 i rapporten. Disse datablade på de enkelte proteinkilder er beskrevet mere uddybende og referencer for de enkelte statements kan findes der. Herunder findes et sammendrag af de forskellige parametre, der er vigtige for at forstå potentialerne for de individuelle proteinkilder.

### Anvendelsesmuligheder

For de forskellige proteinkilder er det angivet, hvilke anvendelsesmuligheder der typisk er for disse. Nogle proteinkilder anvendes typisk til direkte konsum, mens andre vil kunne indgå i fødevarer som proteiningredienser efter forarbejdning. Proteiningrediens dækker overordnet over ekstraheret og/eller oprensede proteiner, der kan tilsættes fødevarer med forskellige formål. Formålene kan helt simpelt være at øge proteinindholdet i fødevaren, men det kan også være for at udnytte de funktionelle egenskaber, som proteinerne kan have i form af deres evne til at bidrage til konsistens. Proteiner fra forskellige proteinkilder kan have forskellige funktionelle egenskaber og forskellige proteiner oprenset i forskellig grad fra den samme proteinkilde kan ligeledes have forskellige funktionelle egenskaber. For mange af proteinkilderne er proteinerne funktionelle egenskaber endnu ikke kortlagte, og desuden er der for mange stadig behov for optimering af ekstraktion og oprensningsmetoder, før det er muligt at forudse, hvordan de oprensede proteiner kan indgå i fødevarerproduktionen og erstatte f.eks. proteiner fra animalske kilder, der typisk anvendes i ingrediensindustrien. Desuden skal det nævnes, at ekstraktion og oprensningen af protein fra de nye alternative kilder, der ikke har været anvendt før 15. maj 1997 skal godkendes som "novel food" i EU, før de kan anvendes i fødevarer. Proteinekstraktioner fra tidligere anvendte udgangsmaterialer kan også være novel food, f.eks. et proteinekstrakt fra en kendt svamp.

### Produktionspotentialer

Der er meget store forskelle i de produktionspotentialer, der kan opnås for forskellige proteinkilder. Det fremgår i tabel 2.1, at der er store potentialer i at udnytte proteinkilder i sidestrømme<sup>1</sup> fra industrien, der i dag bruges som foder til husdyr (mask fra ølproduktion, kartoffelprotein fra stivelsesproduktion, rapspressesæbe fra rapsolieproduktion, og blod fra slagterier). Her er der meget store potentialer for at opkvalificere proteinet fra foderprotein til fødevarerprotein, da sidestrømmene indeholder endog meget store mængder pro-

---

<sup>1</sup> En sidestrøm er defineret som materiale fra en produktion, der har potentialer til at blive forarbejdet til et værdifuldt produkt

tein. Til gengæld kræver opkvalificering af proteinet typisk en oprensning af proteinet, og denne oprensning vil kræve ressourcer, der vil øge både omkostninger og klima- og miljøeffekter for det oprensede protein. Derfor er det nødvendigt med livscyklusanalyser (LCA) for brugen af proteinet i enten foder eller fødevarer, før det er muligt at sige noget præcist, om både potentielle produktionspotentialer og potentielle klima- og miljøgevinster.

Derudover er der nogle proteinkilder, hvor det er vanskeligt at anslå produktionspotentialer. Det gælder f.eks. for protein fra mikroalger, "single cell protein", præcisionsfermentering, cellulær mælk, kultiveret kød (*in vitro* kød) og insektprotein. Her er teknologierne stadig under udvikling og det er svært at angive realistiske produktionspotentialer. I princippet kan der produceres meget store mængder protein, da produktionen per areal kan optimeres til høje udbytter og produktionen kan opskaleres ved at bygge flere og større produktionsanlæg. Desuden kan der også være meget store potentialer i at bruge sidestrømme eller affaldsstrømme<sup>2</sup> fra andre industrier som næringskilde, hvilket kan være med til at bringe produktionsomkostninger ned og give positive klima- og miljøeffekter. Til gengæld vil brugen af sidestrømme til proteinproduktion til fødevarer også kræve nye fødevarermyndighedsgodkendelser for det opnåede proteinprodukt. Det vil også her kræve LCA for de endelige produktioner af de forskellige proteinprodukter, før realistiske vurderinger er mulige. Produktionspotentialerne kommer i sidste ende også til at afhænge af, om det bliver økonomisk rentabelt at producere og sælge proteinet.

#### Klima- og miljøeffekter

For mange af de alternative proteinkilder vil der være positive effekter forbundet med brugen af proteinerne. Nogle har direkte positive effekter på miljøet f.eks. ved at fjerne næringsstoffer fra havmiljøet (tang og muslinger), mens andre har indirekte effekter, idet f.eks. bælgplanter, der kræver mindre eller ingen gødskning, kan erstatte f.eks. korn og majs. Andre indirekte effekter kan ligeledes være, at de alternative proteiner kan erstatte andet protein som f.eks. animalsk protein, der har større klima- og miljøaftryk. For de fleste af de alternative proteinkilder er teknologien stadig på et tidligt stadie, og det er også her nødvendigt med LCA, før det er muligt at vurdere klima- og miljøeffekter for proteinet, når teknologien er moden og produktionen optimeret.

#### Teknologiens modenhed

De forskellige proteinkilder er på meget forskellige udviklingstrin. Der er en række proteiner, der allerede bruges til humant konsum, andre forventes at have kort tid til markedet, da der allerede er metoder til at lave fødevarermyndighedsgodkendte proteinprodukter, mens andre kræver, at der bliver udviklet nye teknologier og ny lovgivning, før de potentielt er markedsparate. Desuden er der proteinkilder, der i dag går direkte til humant konsum, som potentielt kan bruges som fødevarer ingredienser efter ekstraktion og/eller oprensning af pro-

---

<sup>2</sup> En affaldsstrøm er defineret som en strøm, der ikke anses for at kunne forarbejdes til fødevarer kvalitet



teinet. Det gælder f.eks. protein fra bælgplanter (f.eks. ærter), muslinger, insekter og svampe, men det varierer meget, om det vurderes muligt at fremstille fødevaringredienser fra de forskellige kilder. Protein fra f.eks. kartofler, ærter og hestebønner er allerede på markedet, men kvaliteten kan stadig forbedres i forhold til smag og funktionalitet. Protein fra bladgrønt som lucerne, kløver og græsser er på lavere udviklingstrin, men kan have gode produktions og miljømæssige perspektiver. I flere tilfælde vil det kræve nye fødevarer-godkendelser, og det skal undersøges, om de ekstraherede proteiner har en værdi, der kan godtgøre de øgede omkostninger ved oprensingsprocessen.

### Barrierer

For alle proteinkilderne er der i databladene angivet barrierer, der skal overkommes, for at potentialerne for de alternative proteinkilder kan opnås. Der er meget forskellige barrierer for de forskellige alternative proteinkilder, men der er nogle generelle barrierer, der går igen for mange af de alternative proteiner. En barriere er proteinkvaliteten, som skal være høj nok til at kunne konkurrere med de proteiner, der er på markedet i dag. Her er udfordringen for en del af de alternative proteiner, at de ofte skal oprenses og koncentrerer for at komme af med komponenter, der kan bidrage til uønsket smag og lavere ernæringsmæssig kvalitet (antincæringstoffer). Desuden kommer en del af proteinkilderne fra kilder, som vi i Danmark ikke har haft tradition for at spise såsom insekter, mikroorganismer og proteinkilder baseret på *in vitro*-produktion, men også f.eks. tang og nye plantekilder. Det forventes derfor, at proteinprodukter fra disse kilder vil have en lavere forbrugeraf accept og vil være sværere at markedsføre.

For nogle af proteinkilderne er teknologien på et tidligt udviklingsstadium, og barrieren er således mangel på viden om produktionsmetoder, oprensingsmetoder, analyser af proteinernes funktionelle egenskaber og LCA, og til sidst skal der investeres i produktionsanlæg, før potentialet for proteinkilderne kan opnås. En stor barriere for de fleste af de nye alternative proteinkilder til fødevarer er fødevarer-godkendelse i EU-regi. Det er en stor hurdle for langt de fleste producenter, da det er omkostningstungt og langsomt.

### Perspektivering

I dag er der en anbefaling om lavest mulig forarbejdning af fødevarer, hvilket gør f.eks. muslinger og svampe meget brugbare alternativer til kød. Samtidigt er der en stigende efterspørgsel efter høj-kvalitets-proteiningredienser, som ikke synes at stagnere i den nærmeste fremtid. Derfor er det nødvendigt at finde alternativer til valle- og sojaproteinprodukterne, der i dag udgør den største andel af proteiningrediensmarkedet. De behandlede alternativer og deres potentialer nu og i fremtiden kan ses i oversigtfiguren 2.1 A-B.

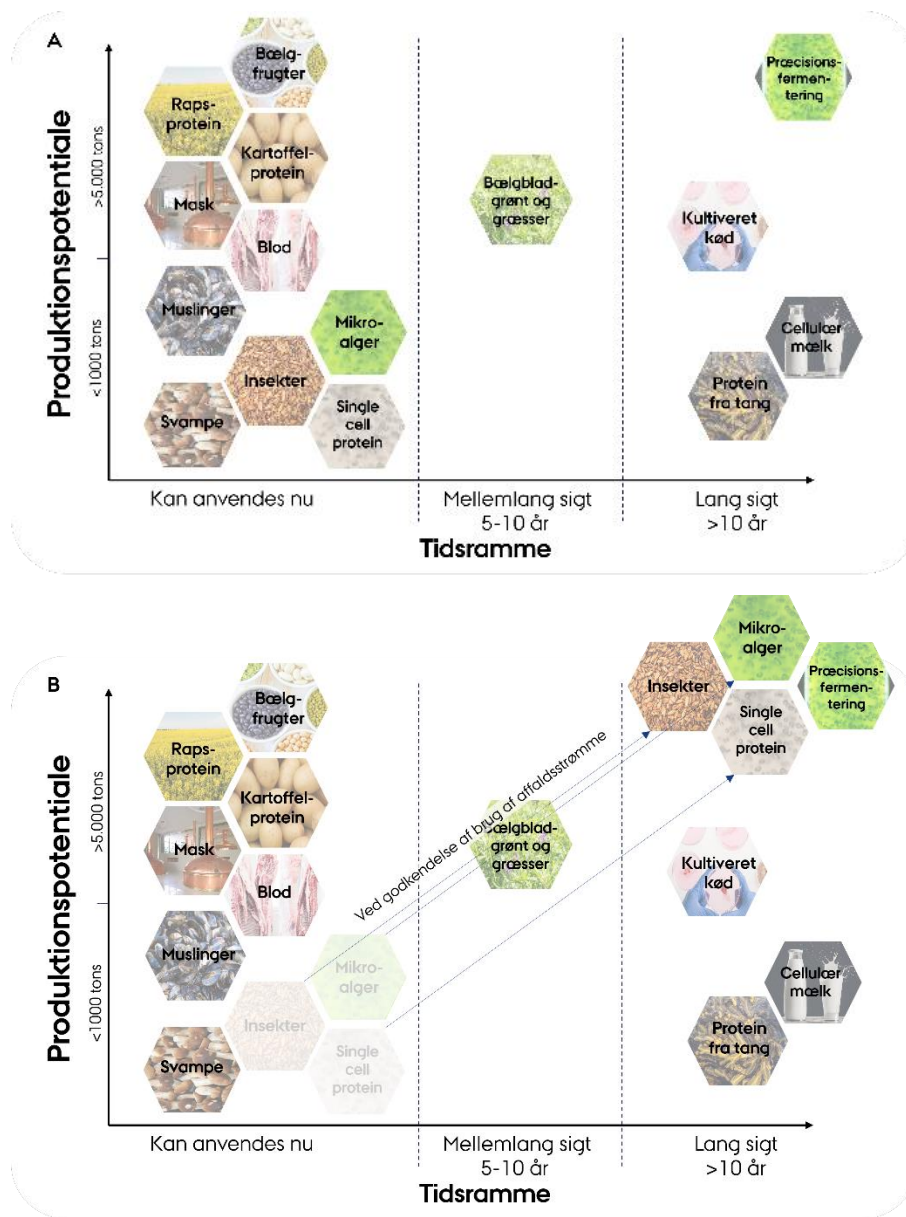
Bælgfrugter er de lavest hængende frugter, da de allerede er på markedet, men en egentlig produktion til fødevarer er nærmest ikke eksisterende i dag, hvorfor forædling mod fødevarer skal intensiveres. Bælgfrugter og bladbælggrønt (lucerne og kløver) har ligeledes fordel i forhold til minimal gødsning, og de flerårige bladbælggrønt giver endnu en positiv effekt på jordbundsforhold, men teknologien er stadig under udvikling og kræver samproduktion med foder for at være økonomisk rentabelt. Tang har den største miljømæssige gevinst, da de virker miljørestaurerende på havmiljøet og ingen brug af landbrugsjord, men

har længere udsigter i forhold til at kunne bruges som proteiningrediens. Tang kan indtages direkte, men indtag af tang uden forarbejdning har ingen ernæringsmæssig positiv effekt på proteinbehov grundet høje fiberindhold i biomassen, så derfor skal der findes bioraffineringsmetoder for disse.

Sidestrømme fra ølproduktionen (mask), rapsolieproduktion og kartoffelstivelse har alle gode potentialer, og bliver allerede anvendt i fødevarer i dag. Dog er der brug for bioraffinering på masken for at få en ingrediens ud af det. Nogle raps- og kartoffelproteinprodukter er godkendte, og der er produktion af kartoffelprotein i Danmark, mens det stadig mangler for rapsproteinet.

Fermentering har ligeledes et stort potentiale, hvor nogle mikroalger er godkendte, mens single cell protein og præcisionsfermentering er for de flestes vedkommende i tidligt stadie. Mammale celler som kultiveret kød og cellulær mælk mangler ligeledes tid, før en dansk produktion er oppe at stå, mens insekter allerede er på markedet. For insekter mangler der dog godkendelse af brug af fødevareaffald som foder, for at få en egentlig bæredygtig insektproduktion.

Hvor skal vi så hen, og hvordan når vi derhen? Der er ingen klare svar, men der bør gås i mange retninger, også selvom nogle proteinkilderne har lange udsigter og kræver mere forskning. Selv hvor der er proteiningredienser på markedet, er der brug for bedre kvaliteter for at erstatte valleprotein i f.eks. klinisk ernæring. De afgrøder, der primært eller udelukkende har været forædlet mod foderprotein har brug for, at der fokuseres på forædling i forhold til højt protein og lavt niveau af antinæringsstoffer. Der skal sættes hårdt på at få den nødvendige viden på bordet i forhold til bæredygtighedskriterier og uddannelse af danskerne i forhold til at forstå at sammensætte bæredygtige velsmagende måltider i dagligdagen.



**Figur 2.1** Oversigtsfigur med forskellige alternative proteinkilder i forhold til tidsramme og produktionspotentiale (A). Produktionspotentialet for nogle af kilderne (særligt insekter, mikroalger og single cell protein), der kan anvendes i dag, er på længere sigt større og har potentiale til stort set ubegrænset produktion, men de kan dog kun kan indfries ved godkendelse af brug af affaldsstrømme og eventuelle nye organismer (B).

**Tabel 2.1.** Oversigt over de proteinkilder der er beskrevet i databladene i afsnit 5.4.

	Anvendelsesmuligheder	Produktionspotentiale i DK	Klima- og miljøeffekter	Teknologiens modenhed	Lovgivningsmæssige barrierer (novel food-godkendelse)
<i>Landbaserede biomasser</i>					
Bælgfrugter	Direkte konsum eller ekstraktion af protein til proteiningredienser.	Produktionstallet for markærter og hestebønner var i 2022 172.000 ton ~ca. 40.000 - 48.000 ton råprotein. Ved omlægning af landbrugsareal til bælgplanter kan give et stort øget proteinudbytte. F.eks. kan en øget produktion af hestebønner potentielt give et merudbytte på 110.000 ton.	Nitrogenfikserende planter giver mindre behov for gødskning.	Fabrikker er til stede (ærter) eller er under opbygning (hestebønner) i DK. Forædling mod fødevarekvalitet er manglende.	Kan anvendes til direkte konsum og som ingredienser i fødevarer.
Bælgbladgrønt og græsser	Ekstraktion af protein til proteiningredienser.	I 2021 blev produktionen af råprotein fra bladgrønt opgjort til 629.000 ton, som bliver brugt som foder. Det estimeres, at der kan opnås en merproduktion af foderprotein ved omlægning af 200.000 ha marker til bladgrønt og bioraffinering. Ca. 10 % af råprotein skønnes at kunne forarbejdes til fødevarer ~20.000-40.000 ton fødevareprotein. Arealomlægning forventes at	Nitrogenfikserende blad-bælgplanter - mindre behov for gødskning og mindre udvaskning af næringsstoffer samt potentielt større lagring af CO <sub>2</sub> i jorden ved flerårige afgrøder ift. etårige afgrøder.	Mellemlang sigt for proteinprodukt (5-10 år). I dag findes der 2 bioraffineringsfabrikker og kun den ene er forberedt til fødevareproduktion. Der er behov for mere udvikling og flere anlæg for at kunne opnå potentialet. Forædling mod fødevarekvalitet er manglende.	Skal novel food godkendes inden brug i fødevarer.

		være fra korn til bælgbladgrønt og græsser.			
Svampe	Direkte konsum.	2600 ton svampe produceres årligt - potentiale ukendt.	Vækst på affaldsstrømme fra andre produktioner kan give positive effekter.	Kan anvendes i fødevarer.	Kan anvendes i fødevarer.
<i>Marine biomasser</i>					
Tang	Direkte konsum af hel tang eller ekstraktion af protein til proteiningredienser.	Potentielt 100-1.500 ton sukertang, 1-5 ton søl og 5-10 ton søsalat produceret, og 11.000 ton søsalat høstet i næringsrige fjorde - estimeret proteinindhold på 150-300 ton. Ca 5-10% af råprotein skønnes at kunne anvendes som fødevaringredienser.	Positive effekter på havmiljø pga. fjernelse af N og P fra marine miljøer.	Tidlig udvikling for produktion af ingredienser (>10 år før signifikant produktion).	Visse tangarter kan anvendes i fødevarer. Nye tangarter, der ikke har været anvendt før 1997, samt oprensede proteiner fra tang kan være novel food som skal godkendes inden brug.
Marine kilder (blåmuslinger)	Blåmuslinger anvendes til direkte konsum.	300.000 ton muslinger kan potentielt produceres i DK - svarer omtrent til 37.500 ton protein, men vil formentligt hovedsageligt gå til muslingemel til foder. Kun en mindre del vil gå til direkte konsum og det præcise potentiale til fødevarer er ukendt.	Positive effekter på havmiljø pga. fjernelse af N og P fra marine miljøer.	Muslingemel vurderes ikke egnet til fødevarer.	Kan anvendes som fødevarer.
<i>Sidestrømme fra eksisterende fødevarerproduktioner</i>					

Rapsprotein (sidestrøm fra rapsolieproduktion)	Anvendes nu til foderprotein, men kan oprensnes til protein-ingredienser til fødevarer.	890.000 ton årlig rapsproduktion svarer anslået til 178.000 ton protein, hvoraf en stor andel i dag bruges til foder. En stor andel af rapsolieproduktion går i dag til biobrændsel og kun 220.000 ton går til madolie, hvilket resulterer i ca. 44.000 ton protein til fødevarer, antaget at alt protein bliver ekstraheret. Alternativt skal proteinet ekstraheres direkte fra rapsfrøet.	Opkvalificering af rapsprotein fra foder til fødevarer kan have positive effekter.	Der findes rapsproteinprodukter på markedet, men ingen danske producenter.	Godkendt To slags proteiningredienser fra rapspressekage er novel food godkendt til fødevarer.
Kartoffelprotein (sidestrøm fra stivelsesproduktion)	Proteiningredienser.	Årlig produktion på 20.000 ton protein, der primært bruges til foder – indtil videre produceres 300 ton tekstureret protein til fødevarer.	Opkvalificering af protein til brug i fødevarer vil formentlig have positive effekter.	Produceres allerede i mindre omfang, men produktionen forventes øget de kommende år.	Ét kartoffelproteinprodukt er novel food godkendt.
Mask (sidestrøm fra ølproduktion)	Direkte som maskemel eller ekstraktion af protein til proteiningredienser.	Ølproduktion i DK giver 117.000 ton mask – svarer til omtrent 5000 ton protein.	Opkvalificering af protein fra foder til fødevarer kan have positive effekter.	tidlig udvikling som ekstraheret proteiningredienser (>10 år).	Kan anvendes direkte i fødevarereproduktion, f.eks. i brødbagning. Ekstraherede proteinprodukter skal novel food godkendes
Blod (sidestrømme fra slagterier)	Proteiningredienser eller til fremstilling af bioaktive peptider.	Stort potentiale ved udnyttelse af en større del af protein i blod fra slagterier.	Brug af en større andel af blodprotein i fødevarer kan have positive effekter.	Bruges allerede som proteiningrediens. Kun et slagteri i DK har faciliteter til at udnytte blodprotein til fødevarer.	Kan anvendes i fødevarer.

Mikrobiel fermentering					
Mikroalger	Proteinsupplement eller ekstraktion af protein til protein-ingredienser.	Stort potentiale, men pga. det tidlige udviklingsstadium er det præcise potentiale ukendt.	Potentielt positive effekter som lavere arealbrug og mindre udvaskning af næringsstoffer.	Tidlig udvikling for oprenset protein (>10 år før signifikant produktion i DK).	Visse typer af mikroalger kan anvendes direkte i fødevarer uden novel food godkendelse. Visse ekstrakter, herunder olier af mikroalger er godkendte til fødevarer. Mikroalger, der ikke har været anvendt før 1997 er novel food som skal godkendes inden brug. Det samme er gældende for proteinekstrakter af mikroalger.
Single cell	Kødestatning (gærprotein) eller proteiningredienser.	Stort potentiale, men pga. det tidlige udviklingsstadium er det præcise potentiale ukendt.	Potentielt positive effekter afhængigt af produktionsform.	Nogle single cell protein baseret på gærceller produceres allerede i dag, men i meget begrænset omfang i DK. Andre er i tidlig udvikling.	Nogle single cell protein baseret på gærceller kan anvendes i fødevarer. Andre typer kræver novel food godkendelse inden de kan anvendes i fødevarer.
Præcisions fermentering	Produktion af højværdi proteiner.	Stort potentiale, men pga. det tidlige udviklingsstadium er det præcise potentiale ukendt.	Afhænger af hvilken type protein der produceres, produktionsmetoden og hvilken type protein der kan erstattes.	Tidlig udvikling. Lang sigt (>10 år før signifikant produktion i DK).	Ikke godkendt. Skal novel food godkendes inden brug i fødevarer.

<i>Mammale celler</i>					
Kultiveret kød	Køderstatning.	Stort potentiale, men pga. det tidlige udviklingsstadiet er det præcise potentiale ukendt.	Forventet mere klimavenlig produktion, mindre vandforbrug og en mindre arealbeslaglæggelse ift. traditionel kødproduktion.	Lang sigt (>10 år) for dansk produktion.	Ikke godkendt Skal novel food godkendes inden anvendelse i fødevarer.
Cellulær mælk	Protein til specialprodukter som f.eks. modermælkserstatning.	Stort potentiale, men pga. det tidlige udviklingsstadiet er det præcise potentiale ukendt.	Muligvis mere klimavenlig produktion ift. konventionel mælk.	Tidlig udviklingsstadiet. Lang sigt for signifikant produktion (>10 år).	Ikke godkendt. Skal novel food-godkendes før anvendelse i fødevarer.
<i>Insekter</i>					
	Direkte konsum eller proteiningredienser.	Stort potentiale, men pga. det tidlige udviklingsstadiet er det præcise potentiale ukendt.	Lavere CO <sub>2</sub> -aftryk end grise- og fjerkrækød, og afhænger af foderet. Potentielt positive effekter ved brug af affaldsstrømme som næringskilde, kræver godkendelse.	Insekter produceres allerede til fødevarerbrug. Mere effektiv produktion ved brug af f.eks. husholdningsaffald kræver godkendelse og vil formentlig ske på lang sigt.	Godkendte til direkte konsum. Nogle insekter er godkendte til direkte konsum. Ikke godkendt som proteiningredienser. Kræver novel food godkendelse at bruge alternative næringskilder som f.eks. husholdningsaffald.



### 3 Introduktion

Med det store og stadigt stigende proteinbehov i Danmark og globalt har vi brug for nye proteinproduktionsystemer for at kunne imødekomme behovet, helst på bæredygtig vis. Stigningen i proteinbehov skyldes et højere indtag af protein pr. indbygger (særligt animalsk protein) samt et stadigt stigende befolkningstal (United Nations 2019, FAOSTAT 2022c). Det er estimeret, at fødevarerforsyningskæden er ansvarlig for ca. 26 % af drivhusgasudledning globalt (Poore og Nemecek 2018), og ifølge Europa-kommissionen (2020) er landbruget ansvarlig for 10 % af drivhusgasudledningen indenfor EU, hvoraf 70 % udledes fra den animalske produktion. For at få et mere bæredygtigt og klimavenligt fødevarerproduktionssystem, kræves der en kostomlægning hen imod en mere plantebaseret kost med et lavere indtag af kød (Tilman og Clark 2014, Aleksandrowicz et al. 2016, Poore og Nemecek 2018). Dette stemmer overens med De Officielle Kostråd, som blev udgivet i 2021, og "For første gang nogensinde guider Danmarks syv nye kostråd ikke blot danskerne til et sundere helbred, men også til en sundere klode" (Fødevarerministeriet 2022).

Altså er der et behov for et skifte i proteinindtaget og en mere bæredygtig proteinproduktion. I denne rapport findes et sammendrag over, hvordan proteinforbrug og forbrugerpræferencer har ændret sig gennem tiden, hvordan kostomlægning og nye proteinkilder vil kunne bidrage med forskellige miljøeffekter, samt en samling af datablade over forskellige alternative proteinkilder med potentiale for dansk produktion.

I det følgende afsnit bliver fødevarerprotein gennemgået i forhold til forbrugerpræferencer og indtag, proteinforsyning, klima og miljøeffekter samt proteiningredienser. I afsnit 5 gennemgås de forskellige proteinkilder i forhold til fødevarer kvalitet, samt de forarbejdningsmetoder, der kan anvendes og er under udvikling for de forskellige proteinkilder, der bliver gennemgået separat i databladene.

## 4 Fødevarerprotein – indtag, forsyning, import, klima- og miljøeffekter og ingredienser

### 4.1 Fødevarerindtag og forbrugerpræferencer

#### 4.1.1 Fødevarer- og næringsstofindtag

Danskernes kostvaner er dynamiske, og kigger man på data fra de to senest-publicerede nationale kostundersøgelser, ses ændringer selv inden for en forholdsvis kort tidsramme. Mht. protein fremgår det af Tabel 4.1.1, at voksne danskere i gennemsnit indtager 85,6 g protein om dagen, hvoraf ca. 70 % er af animalsk oprindelse. Til sammenligning oplyste Gylling og Hermansen (2018) et proteinindtag på 83 g/dag, hvoraf 66 % var af animalsk oprindelse. Tallene kommer fra fødevarerindtaget som målt i de nationale kostundersøgelser i hhv. 2011-2013 og 2003-2008. Der ses altså et øget proteinindtag både generelt og af animalsk oprindelse fra kostundersøgelsen i 2003-2008 til undersøgelsen i 2011-2013. I samme periode ses det, at den relative energi-andel af både protein og fedt i kosten er steget, mens indholdet af kulhydrat er faldet (Tabel 4.1.2). Faldet i kulhydrat skyldes formentlig primært et fald i indtaget af sukkersødede drikkevarer (Pedersen et al. 2015). Tilgængeligt data fra Corona-kostundersøgelsen i foråret 2020 viser dog, at det relative indtag af søde sager og sødede drikke steg under corona-nedlukningen, mens indtags-andelen af frugt og grønt, samt fisk og rødt kød faldt en smule (Matthiessen et al. 2021). Data fra den nationale kostundersøgelse 2020-2021 er endnu ikke tilgængeligt. Det anbefales af FAO/WHO, at børn og voksne (2-64 år) har et proteinindtag på 0,8 g protein pr. kg kropsvægt, mens Nordisk råd anbefaler et proteinindtag udgørende 10-20 % af energiindtaget, hvilket svarer til et proteinindtag på 0,8-1,5 g protein/kg kropsvægt pr. dag alt efter aktivitetsniveau (altomkost.dk 2022, Langvad 2023). Med udgangspunkt i FAO/WHO's anbefalinger bør en gennemsnitsdansker (79 kg) indtage 63 g protein pr. dag. Indtaget af protein for gennemsnitsdanskeren (85,6 g/dag) ligger altså over det anbefalede minimumsindtag.

**Tabel 4.1.1.** *Sammensætning og proteinindhold af en gennemsnitlig kost for voksne (18-75 år) i Danmark. Data på gennemsnitligt fødevarerindtag er fra Pedersen et al. (2015) og proteinindholdet for de forskellige fødevarergrupper er taget fra Gylling og Hermansen (2018) med udgangspunkt i frida.fooddata.dk.*

Fødevarergruppe	Gns. indtag (± spredning) (g/dag)	Protein (g/100 g føde- vare)	Proteinindtag (g/dag)	Andel af total pro- teinindtag (%)
Mælk mm.	304 ± 240	3,5	10,6	12,4
Ost mm.	44 ± 33	23,7	10,4	12,2
Brød og korn	218 ± 84	8,5	18,5	21,6
Kartofler	91 ± 83	2,2	2,0	2,3
Grøntsager	199 ± 119	1,2	2,4	2,8
Frugt	190 ± 148	0,7	1,3	1,6
Kød	134 ± 81	19,2	25,7	30,0
Fjerkræ	26 ± 33	19,3	5,0	5,9
Fisk	37 ± 36	13,7	5,1	5,9
Æg	24 ± 19	12,3	3,0	3,4
Fedtstoffer	41 ± 23	0,3	0,1	0,1
Sukker og slik	37 ± 31	0	0,0	0,0
Drikkevarer	2184 ± 830	0,05	1,1	1,3
Juice	56 ± 92	0,6	0,3	0,4
Total			85,6	100
Animalsk oprindelse			59,8	69,9

**Tabel 4.1.2.** *Relativt indhold i forhold til energiprocent (E%) (ekskl. alkohol) af de energigivende næringsstoffer hos voksne (15-75 år) i gennemsnitskosten 2003-2008 og 2011-2013. \* markerer statistisk signifikant (t-test) forskel mellem 2003-2008 og 2011-2013 (Pedersen et al. 2015).*

Næringsstof	2003-2008	2011-2013
Fedt (E%)	35	38*
Kulhydrat (E%)	50	46*
Kostfiber (g/10 MJ)	24	24
Protein (E%)	15	16*

Med udgangspunkt i kostundersøgelsen i 2011-2013 og Danmarks samlede befolkningstal er det samlede estimerede proteinindtag i Danmark på 180 mio. kg om året (Tabel 4.1.3). Dette er en markant stigning fra 143 mio. kg som beregnet af Gylling og Hermansen (2018) ud fra kostundersøgelsen i 2003-2008, men skyldes primært forskellige befolkningstal og for en mindre del et øget proteinindtag/indbygger.

**Tabel 4.1.3.** Samlet proteinindtag i Danmark. Proteinindtaget (kg/indbygger/år) er beregnet fra Pedersen et al. (2015) og Gylling og Hermansen (2018), og befolkningstallet (4. kvartal 2022) fra Danmarks statistik (2022d).

	Proteinindtag (kg/indbygger/år)	Antal danskere i aldersgruppen	Samlet proteinindtag (mio. Kg)
Børn 4-9 år	24,6	618.184 (0-9 år)	15.2
Børn 10-17 år	28,0	539.504 (10-17 år)	15.1
Voksne 18-75 år	31,3	4.770.675 (18+ år)	149.1
I alt		5.928.364	179.4

#### 4.1.2 Forbrug og forbrugerpræferencer

Siden 2010 er salget af kødalternativer tidoblet, dette inkluderer varer som falafler, tofu og plantebaseret fars (Coop analyse 2022a). Kødalternativer udgør dog stadig kun en lille del af markedet med en samlet salgsværdi på omkring 215.000 kr. i 2020 (Statista 2021). Ligeledes er salget af bælgfrugter næsten fordoblet siden 2010. Størstedelen af danskerne spiser dog stadig kød hver dag, mens ca. 3 % af danskerne lever vegetarisk eller vegansk og ca. 2 % pescetarisk. Omkring 12 % definerer sig som flexitarer og har flere kødfrie dage om ugen. Andelen af flexitarer er højere i den yngre del af befolkningen, hvor ca. 17 % af de 18-34-årige anser sig selv som flexitarer, mens dette tal i aldersgrupperne 35-54 og 55-74 er 9 %. Samme tendens ses for pescetarer, vegetarer og veganere, hvor en højere andel af den yngre befolkning har disse kostmønstre (Coop analyse 2022a). De væsentligste årsager til at have et eller flere kødfrie måltider om ugen er klima/miljø og sundhed. Disse to årsager angives hver især som den primære årsag af 34 % af de adspurgte, mens prisen på kød er den tredje mest angivne årsag (Coop analyse 2022b). Det ses også, at kødforbruget rent faktisk er faldet de seneste år, da Coops mad-o-meter, der er baseret på, hvad danskerne registrerer, de har spist de seneste 24 timer, viser et fald på 5 procentpoint fra 2010 til 2021. I 2010 fik 85,4 % kød til aftensmad, mens dette i 2021 var faldet til 80,7 % (Coop analyse 2022a). Af Tabel 4.1.4 fremgår det, at andelen af danskerne, der mener, de køber mindre kød end tidligere eller fremadrettet forventer at købe mindre kød er steget siden 2012 og udgør nu over halvdelen af danskerne. Det ses desuden, at andelen af danskerne, der forventer at skære ned på oksekød til fordel for kylling også er steget fra 2012 til 2020, samt at 36 % forsøger at begrænse deres indtag af oksekød, mens yderligere 12 % gerne vil begrænse indtaget. Til trods for tendenserne hen imod et reduceret kødindtag, tager 66 % af befolkningen udgangspunkt i kødet, når aftensmaden skal bestemmes (Coop analyse 2022a).

Danskerne arbejder sig altså hen imod et reduceret kødforbrug og forsøger dermed at efterleve kostrådet omkring et reduceret kødindtag. Der ses altså endnu ikke lige så store ændringer i forbruget, som i intentionerne, hvad angår bæredygtigt fødevarerforbrug (Fagt et al. 2023). I forhold til frugt og grønt, anbefales

det, at voksne og børn over 10 år indtager 600 g frugt og grønt om dagen. Under 10 % af befolkningen lever op til denne anbefaling og andelen af befolkningen, der indtager frugt dagligt og grøntsager mere end en gang om dagen er faldet siden 2010 (Sundhedsstyrelsen 2022).

#### **Definitionsboks**

##### **Vegansk kost**

Vegansk kost er plantebaseret (grøntsager, bælgrugter, nødder, frugt, svampe, korn mv.) og indeholder ingen produkter af animalsk oprindelse.

##### **Vegetarisk kost**

Vegetarisk kost er plantebaseret, men kan være suppleret af mejeriprodukter og æg. Vegetarer spiser ikke kød, fjerkræ, fisk eller skaldyr eller biprodukter fra slagtning.

##### **Pescetarisk kost**

Pescetarisk kost er plantebaseret, men modsat den vegetariske kost, suppleres der med fisk og skaldyr, samt mejeriprodukter og æg. En pescetar spiser ikke kød, fjerkræ og biprodukter fra slagtning.

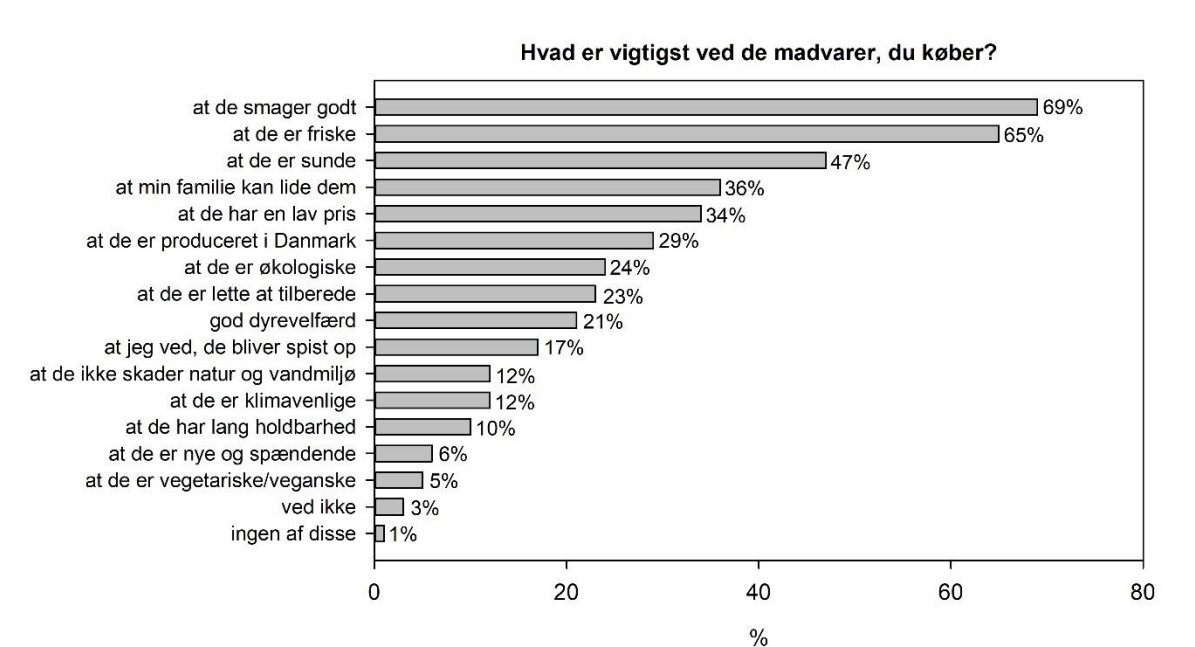
##### **Flexitarisk kost**

Flexitarisk kost er primært plantebaseret, men kan også indeholde kød, fjerkræ, fisk mv. En flexitar er en "fleksibel vegetar". Kosten indeholder færre animalske produkter end den gennemsnitlige kost og vil ofte indeholde en eller flere kødfrie dage om ugen.

**Tabel 4.1.4.** Forbrugerindex over indkøb af økologisk mad samt kød i 2012, 2018 og 2020. Data fra Coops grønne forbrugerindex (Coop analyse 2020).

	Det gør jeg i dag	Det forventer jeg at gøre i fremtiden	Det gør jeg ikke og har ingen planer om at gøre	Ved ikke/ikke relevant for mig
<b>Købe økologisk mad (%)</b>				
2012	40.0	14.6	34.0	11.4
2018	45.5	17.2	27.5	9.7
2020	45.7	14.8	28.5	11.0
<b>Købe mindre kød (%)</b>				
2012	26.3	9.3	56.3	8.1
2018	31.7	16.6	43.2	8.5
2020	33.9	14.5	42.0	9.6
<b>Spise mere kylling og mindre oksekød (%)</b>				
2012	45.1	10.3	36.5	8.1
2018	44.2	13.3	30.6	11.9
2020	45.4	14.7	27.9	12.0

Køb af økologisk mad er steget markant fra 2,6 % i 2004 til 16,2 % i 2022 (Coop analyse 2022c) og 24 % af forbrugerne mener, at økologi er vigtigt i forhold til valg af en madvare. Det vigtigste, for at vælge en specifik madvare, er dog smag og friskhed, hvilket hhv. 69 % og 65 % svarer er det vigtigste, når de køber en madvare. For 12 % af forbrugerne er det vigtigst at en madvare er klimavenlig, mens også dyrevelfærd (21 %), og at det er produceret i Danmark (29 %), vægter højt (Figur 4.1.3) (Coop analyse 2022a).



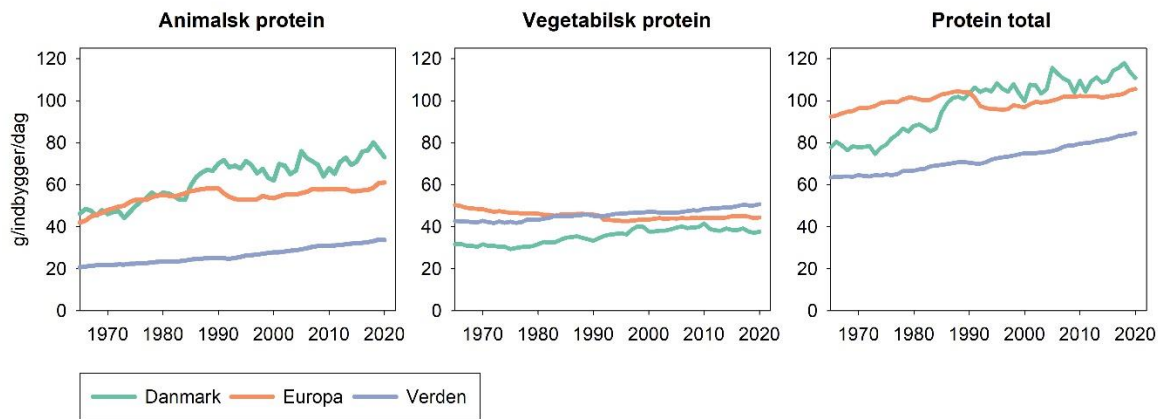
**Figur 4.1.3.** De vigtigste egenskaber ved de madvarer vi køber – forbrugerpræferencer i 2021. Data fra Coop analyse (2022a). Spørgsmålet blev stillet som et lukket spørgsmål med mulighed for at vælge max tre svar.

*Forbrugerpræferencerne har altså ændret sig gennem de seneste år – om ikke andet er vi på vej mod et skifte. Over halvdelen af de voksne danskere mener, at Danmarks samlede kødforbrug bør reduceres. De væsentligste årsager hertil er klima/miljø og sundhed. Ca. en tredjedel af forbrugerne mener, at de allerede har reduceret deres kødforbrug, og et fald på 5 procentpoint i det samlede kødforbrug ses fra 2010 til 2021.*

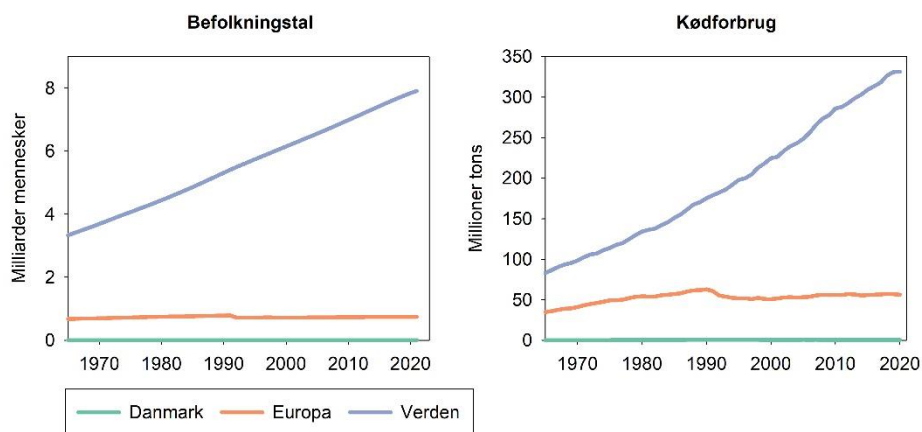
*Selvom klima/miljø nævnes som den væsentligste grund til at reducere kødforbruget, er det smag og friskhed, der vægter højest, når madvarerne skal i indkøbskurven. Smag går igen som den væsentligste faktor, både for køb af madvarer generelt, men også når der spørges til, hvad der holder forbrugerne fra at købe de nye plantebaserede kødalternativer. Af andelen af danskerne, der ikke køber de plantebaserede alternativer, svarer 48 % at dette skyldes smagen, 34 % svarer prisen, mens 25 % svarer hhv. konsistens og manglende kendskab til produkterne (Coop analyse 2022a). Altså er der et behov for udvikling af plantebaserede produkter for at imødekomme forbrugerne på smag og pris, mens der også vil være et behov for at udbrede kendskabet til produkterne, samt at forbrugerne skal vænne sig til de nye produkter og til dels nye smage, nogle gange refereret til som forbrugeradaptation.*

## 4.2 Udvikling i proteinforsyning lokalt og globalt

Proteinforbruget er steget markant gennem de seneste +50 år, både lokalt og globalt. Dette skyldes et stigende forbrug pr. indbygger (Figur 4.2.1) samt et stigende befolkningstal (Figur 4.2.2). I Danmark og Europa ligger forbruget af animalsk protein højere end af vegetabilsk protein, hvorimod det er omvendt set på verdensplan. Danmark og Europa ligger desuden over verdensgennemsnittet hvad angår protein til humant konsum pr. indbygger. Dette skyldes et relativt højt indtag af animalsk protein, herunder kød. Kødforbruget har længe været stigende, både i Danmark, Europa og resten af verden, men hvor kødforbruget nu begynder at stagnere i Danmark og Europa ses et stadigt stigende kødforbrug på verdensplan, særligt grundet stigende kødforbrug i lavindkomstlande (Figur 4.2.3). Kødforbruget pr. indbygger i Danmark og Europa er dog stadig næsten dobbelt så højt som verdensgennemsnittet. Det stigende kødforbrug betyder også, at der er en stigende efterspørgsel på protein til foder.

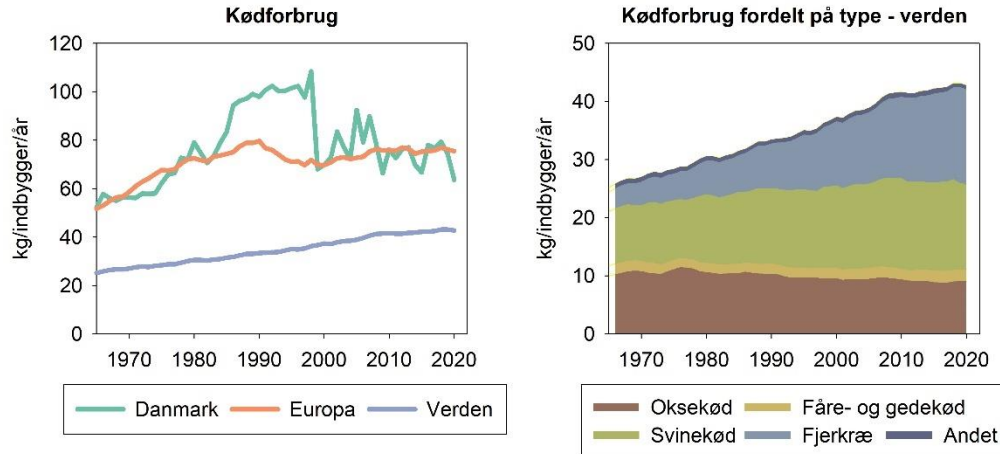


**Figur 4.2.1** *Udvikling i proteinforsyning til humant konsum i Danmark, Europa og verden fra 1965-2021 angivet som g protein pr. indbygger pr. dag for hhv. animalsk, vegetabilsk og totalt protein. Figurer er fremstillet på baggrund af data fra FAOSTAT (2022c). Det fremgår tydeligt, at forbruget af svinekød har været svagt stigende de sidste 55 år, mens indtag af oksekød har været svagt faldende, og fjerkræ er den helt store joker med cirka en tredobling i indtag pr. indbygger.*



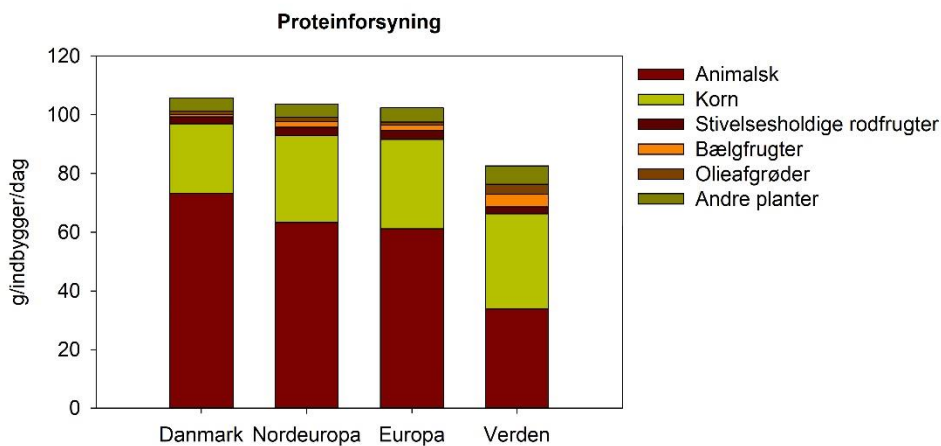
**Figur 4.2.2** *Total kødforbrug og befolkningstilvækst i Danmark, Europa og Verden (FAOSTAT 2022c, FAOSTAT 2022a).*





**Figur 4.2.3.** Kødforbrug (forsyningsstatistik) i Danmark, Europa og verden samt fordelingen af kilder til kød på verdensplan. Data er ekstraheret fra (FAOSTAT 2022c). I Danmark blev metoden til opgørelse af kødforbrug ændret i 2000 i forhold til at skulle spejle forbruget bedre, hvilket er skyld i det store fald, der ses omkring 2000.

Vendes blikket mod proteinforsyningen fordelt på afgrøder, er der overvægt af animalsk protein i Danmark og Europa, mens animalsk protein på verdensplan udgør lige under halvdelen af proteinforsyningen. Korn er den næstmest dominerende kilde til protein efter animalske produkter. Det er også værd at bemærke, at forsyningen af bælgfrugter er meget lav i Danmark, både sammenlignet med Europa og særligt når der sammenlignes med den globale forsyning (Figur 4.2.4).



**Figur 4.2.4** Proteinforsyningen i Danmark, Nordeuropa, Europa og Verden i 2020 fordelt på forskellige råvare-kategorier. Figuren er baseret på data fra (FAOSTAT 2022c).

### 4.2.1 Dansk produktion og import af proteinkilder

Størstedelen af vegetabilsk protein i Danmark, der anvendes til humant konsum, kommer fra traditionelle kornafgrøder som hvede, rug og havre, mens også kartofler og grøntsager udgør en væsentlig del af proteinindtaget fra afgrøder. Samlet blev der produceret knap 50.000 ton protein anvendt til humant konsum fra vegetabiliske landbrugsafgrøder i 2018 (Tabel 4.2.1) (Gylling 2020). Dette svarer til en vegetabilsk proteinproduktion til fødevarer på ca. 23,5 g/indbygger/dag.

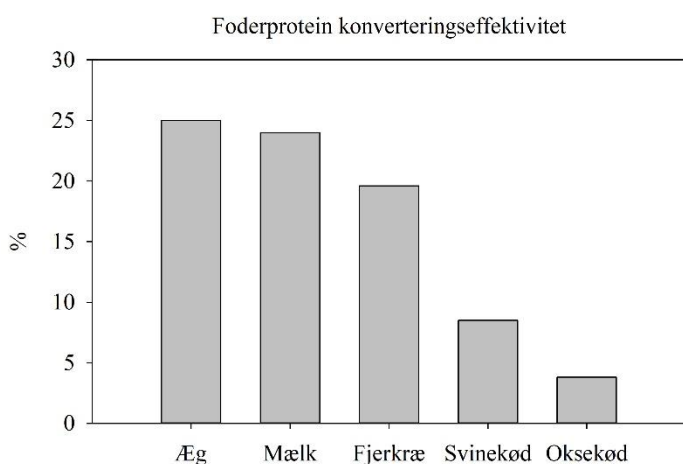
**Tabel 4.2.1** *Indhold af protein i den vegetabiliske landbrugsproduktion i Danmark som gik til human ernæring i 2018. Mængderne betragtes som bedste estimat, da det er baseret på den dyrkede mængde og en gennemsnitlig proteinmængde for de enkelte afgrøder, samt at der kan være mindre afgrøder der ikke er indeholdt i statistikken. Data fra Gylling (2020).*

Kilde	Mængde protein (ton)
Grøntsager	4.200
Kartofler	6.000
Hvedemel	24.900
Rugmel	7.500
Havregryn	7.100
Quinoa m.fl.	4-6
I alt	~ 49.700

Den vegetabiliske proteinproduktion til foderforbrug er langt højere end til fødevarer og ligger på 1.9 mio. ton. Derudover importeres der til foderforbrug yderligere 0.86 mio. ton protein, primært i form af sojaprodukter (Danmarks statistik 2022c). De importerede produkter fra soja (oliekager og sojabønnemel/sojaskrå) udgjorde i 2021 en værdi af 4,4 mia. kr. (Danmarks statistik 2022f). Det høje vegetabiliske proteinforbrug til foder, hænger sammen med en stor kødproduktion i Danmark (Tabel 4.2.2). Der er særligt en stor produktion af svinekød, hvoraf næsten 90 % af produktionen eksporteres. Produktionen af kød og animalske fødevarer kræver et stort input af protein i foderet og kun en fraktion af proteinet i foderet bliver omdannet til protein i kødet eller i de animalske produkter (Alexander et al. 2016). Effektiviteten af omdannelsen af foder til fødevarerprotein afhænger dog meget af hvilket animalsk produkt, der er tale om. Som eksempel omdannes 25 % af foderprotein til protein i æg mens tallene kun er 19.6 % for fjerkræ, 8.5 % for svin og 3.8 % for oksekød (Figur 4.2.5).

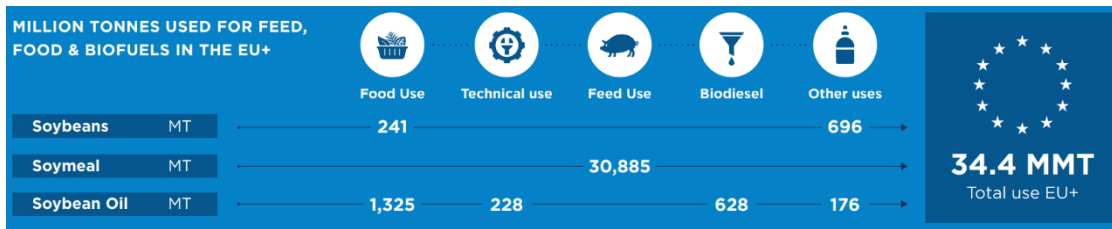
**Tabel 4.2.2** Lokal og global kød-, fiske- og mælkeproduktion, inkl. import og eksport til/fra Danmark. Eksport inkluderer også re-eksport, hvorfor tallet for eksport kan overstige tallet for produktion. Data fra FAOSTAT (2022b).

Enhed: 1000 ton		Oksekød	Fåre/ gedekød	Svinekød	Fjerkræ	Kød i alt	Æg	Fisk	Mælk
Danmark	Produktion	122	1	1.596	166	1.886	85	942	5.666
	Eksport	90	0	1.427	139	1.660	23	1.955	3.071
	Import	120	3	157	119	405	38	1.214	788
Verden	Produktion	73.006	15.965	110.047	133.645	337.812	93.123	176.592	886.321

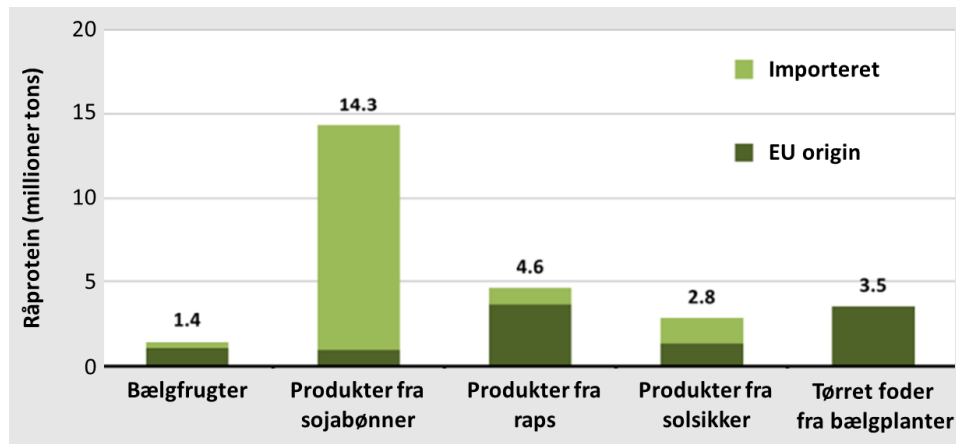


**Figur 4.2.5** Den globale gennemsnitlige konverteringseffektivitet af foderprotein til protein i udvalgte fødevarer (Alexander et al. 2016).

Det er ikke kun Danmark, der har en høj import af soja, men også resten af EU. Der findes ikke et præcist overslag for, hvor meget af den danske import af soja, der går til humant konsum, f.eks. i form af edamamebønner, tofu, olie og sojasovs. Samlet i EU inkl. Norge og Schweiz (EU+) er det ca. 5 % af sojaimporten, der går til humant konsum, mens ca. 90 % går til foder (Figur 4.2.6). EU+ brugte i 2017 ca. 34,4 millioner ton sojabønner, sojamel og sojaolie (svarende til 40,5 millioner ton sojabønne-ækvivalenter), hvilket svarer til ca. 12 % af den globale sojabønne-produktion. Heraf levede ca. 22 % op til "FEFAC Soy Sourcing Guidelines", der fungerer som reference for ansvarlig produktion af soja, mens 13 % var skovrydningsfri. Der produceres også soja i Europa, men denne produktion svarer til under 10 % af den mængde, som importeres (IDH og IUCN NL 2019) (Figur 4.2.7).

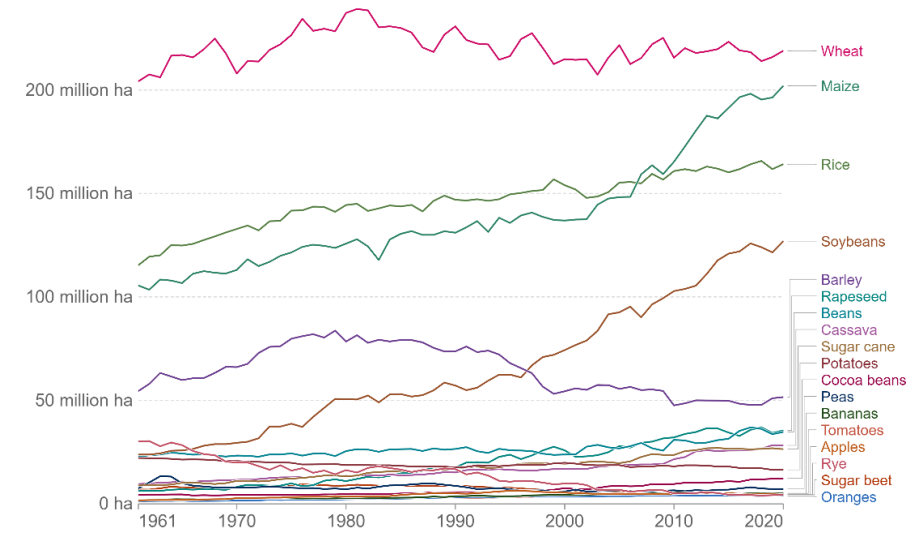


**Figur 4.2.6** EU+ (EU samt Norge og Schweiz) forbrug af soja i 2017. Bemærk at komma i denne figur fungerer som tusindtals-separator og punktum som decimal-separator, samt at MT = 1000 ton og MMT = Millioner ton. Figur fra IDH og IUCN NL (2019).



**Figur 4.2.7** Brug af proteinafgrøder i EU 2016/2017. Modifieret fra (European-kommissionen 2018).

Det høje forbrug af soja til foder gør, at soja nu er den fjerde mest dyrkede afgrøde i verden, når man kigger på landareal (Figur 4.2.8). Produktionsarealet for soja er siden 1960'erne blevet mere en femdoblet. Den øgede efterspørgsel på soja gennem tiden har medført skovrydning, hvilket gør, at oliefrøproduktionen (primært soja og palmeolie) er den næststørste anledning til drivhusgas-udledning som følge af skovrydning, mens kvægdrift er den største anledning. Det anslås, at der i gennemsnit i årene 2010-2014 blev udledt 2,6 gigaton CO<sub>2</sub> som følge af skovrydning. En stor del (29-39 %) af denne skovrydnings-afledte udledning er omfattet af international handel, f.eks. ved eksport af oliefrø, særligt til EU og Kina. Dette bevirker også, at en sjettedel af CO<sub>2</sub>-aftrykket af en gennemsnitlig diæt i EU kommer af skovrydning (Pendrill et al. 2019). Når der er tale om soja, er det altså i høj grad mangel på skovrydningsfri og ansvarlig produktion, der gør sojaforbruget til en klimasynder.



**Figur 4.2.8** Landareal pr. afgrøde på verdensplan fra 1961-2020. Figuren er taget fra (Ritchie og Roser 2019) med udgangspunkt i data fra FAOstat.

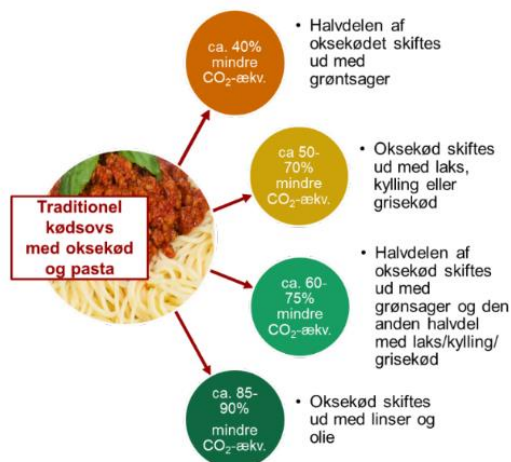
### 4.3 Miljø- og Klimaeffekter

Ændring af kostmønstre har stor betydning for klimaaftrykket af kosten. Set i forhold til den gennemsnitlige danske kost i 2011-13, vil klimaaftrykket, målt i CO<sub>2</sub>-ækvivalenter, kunne reduceres med 31 % ved at det nationale kostmønster følger De Officielle Kostråd fra 2021, der opfordrer til at spise mere plante-rigt (Nordman et al. 2022). Det relative klimaaftryk af forskellige kostmønstre kan ses i Tabel 4.3.1, mens Figur 4.3.1 viser hvordan en portion traditionel "pasta med kødsovs" kan gøres mere klimavenlig. Selv mindre ændringer i kosten kan altså have en positiv effekt på klimaaftrykket. Den største reduktion i både klimaaftryk og arealanvendelse ses ved et skifte til vegansk kost (Lassen et al. 2020).

**Tabel 4.3.1** Relativ forskel i klimaaftryk og arealanvendelse for forskellige kostformer i forhold til den gennemsnitlige kost i et højindkomstland. Værdier er angivet som median. Tabellen er modificeret fra Lassen et al. (2020). Den originale tabel med interkvartil range for data samt antal studier inkluderet i analysen findes i Bilag 1.

Kostformer	Klimaaftryk	Arealanvendelser
	(% ændring ift. gennemsnitlig kost)	(% ændring ift. gennemsnitlig kost)
Vegansk	-45 % <sup>1</sup>	-55 % <sup>1</sup>
	-49 % <sup>2</sup>	-50 % <sup>2</sup>
Vegetarisk (lakto-ovo-vegetarisk)	-31 % <sup>1</sup>	-51 % <sup>1</sup>
	-35 % <sup>2</sup>	-42 % <sup>2</sup>
Kød og mejeriprodukter delvis erstattet med plante-baserede fødevarer (flexitar)	-31 % <sup>1</sup>	-16 % <sup>1</sup>
Pescetarkost	-27 % <sup>1</sup>	-39 % <sup>1</sup>
Kød fra drøvtyggere erstattet med kød fra en-mavede dyr	-21 % <sup>1</sup>	-37 % <sup>1</sup>
Balanceret energiindtag	-6 % <sup>1</sup>	-3 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Aleksandrowicz et al. (2016), <sup>2</sup> Fresán og Sabaté (2019)



**Figur 4.3.1** Eksempler på hvordan den traditionelle kødsovs gøres mere klimavenlig (Lassen et al. 2020).

Generelt er det kompliceret at give et konkret bud på klimaeffekterne af forskellige alternative proteinkilder. Som eksempel kan bruges omlægningen til flerårige afgrøder som lucerne, hvor ikke kun selve omlægningen vil have en effekt i det store billede, men også hvordan afgrøderne f.eks. performer i forhold til produktivitet i foderrationer/fødevarer sammenlignet med de afgrøder, der erstattes (Olesen et al. 2013). I forhold til de nye alternative proteinkilder, hvor der fortsat udvikles på processering og teknologi, mangler der generelt LCA til at vurdere de forskellige effekter på bl.a. klima og miljø. For nogle biomasser er miljøeffekter forsøgt kortlagt i forhold til bl.a. produktion og høst, mens næste step mod et oprenset protein i mange tilfælde mangler at gennemgå en LCA. Herunder er der et par eksempler på miljøeffekter af biomasser, der anses som alternative kilder til fødevarerprotein på sigt.

En af de alternative proteinkilder, som forventes at komme på det danske marked inden for 10 år samt forventes at have et stort produktionspotentiale, er bladbælgplanter som lucerne og kløver. For at kunne lave en produktion af lucerneprotein, er det nødvendigt med en omlægning af marker. Omlægning fra enårige afgrøder til flerårige bælgplanter som lucerne og kløver, giver en forøget kulstoflagring i jorden, samt en øget kvælstoffiksering, hvilket resulterer i et lavere gødningsbehov og som følge heraf også en reduceret udledning af lattergas (Olesen et al. 2013). Eksempelvis giver et skift fra enårig vinter-hvede til flerårige kløvergræsser en årlig reduktion af kvælstof (N) udvaskning på 24-84 kg N/ha og 2,2-3,4 ton CO<sub>2</sub>-ækvivalenter/ha alt efter årrække, gødsning og jordtype (Jørgensen et al. 2021).

#### Definitionsboks

##### Livscyklusanalyse (LCA)

Livscyklusanalyse eller livscyklusvurdering er en metode til at vurdere den miljømæssige påvirkning (input og udledning af f.eks. drivhusgasser) af et produkt gennem hele produktets livscyklus, fra indsamling af råmateriale over processering og distribuering til slutbrug og eventuel genanvendelse (fra vugge til grav). Ofte inkluderes ikke kun den miljømæssige påvirkning, men også sociale/samfundsmæssige påvirkninger samt en tekno-økonomisk LCA (teknisk performance og økonomiske muligheder/rentabilitet).

Kigger vi mod det marine miljø, ses også positive effekter af forskellige biomasser, som f.eks. søsalat. Det er vist, at høst af masseforekomster af søsalat fra næringsbelastede fjorde kan fjerne 49,5±35,5 kg N/ha og 5,2±2,5 kg P/ha. N- og P-effekten er i høj grad afhængig af biomasse-tæthed, høstperiode, samt tørstof- og hhv. kvælstof- og fosfor-indholdet i biomassen. Dette er videre afhængigt af vækstbetingelserne for søsalaten. Som positive sideeffekter til høst af søsalat nævnes også øget sigtdybde samt bedre vækstbetingelser for ålegræs og flerårige makroalger (tang), samt øget artsdiversitet generelt (Bruhn et al. 2020c).

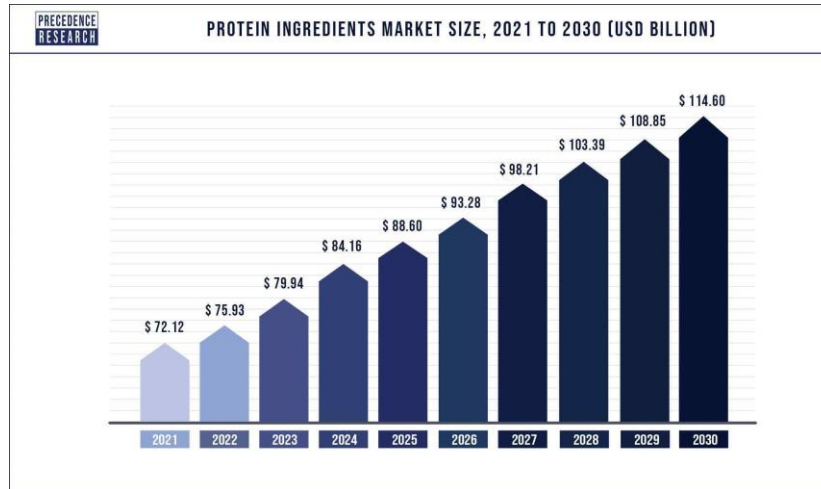
## 4.4 Proteiningredienser

Til trods for at FAO anbefaler, at fødevarer forarbejdes mindst muligt, er der et øget forbrug af proteiningredienser med høj næringsmæssig værdi og/eller funktionelle egenskaber. Proteiningredienser anvendes i fødevarer enten i form af et proteinmel, et proteinkoncentrat eller et proteinisolat, med stigende mængde protein pr. tørstofindhold i nævnte rækkefølge. Proteinene er altså koncentreret og/eller ekstraheret ud af råvaren. Udover protein kan proteinprodukterne indeholde både fibre, kulhydrater, fedt og aske. Sammensætningen vil afhænge af hvilken kilde, der anvendes til at producere produktet. Når proteinindholdet øges som ved produktion af proteinkoncentrat eller proteinisolater vil indholdet af de andre komponenter mindskes. Derudover kan der være små komponenter, som f.eks. sekundære plantemetabolitter, der kan virke som antinæringsstoffer i plantebaserede proteinprodukter eller toksiner, hvilke vil afhænge meget af hvilken biomasse, der anvendes. Nogle former for forarbejdning, vil resultere i en koncentreret af disse,

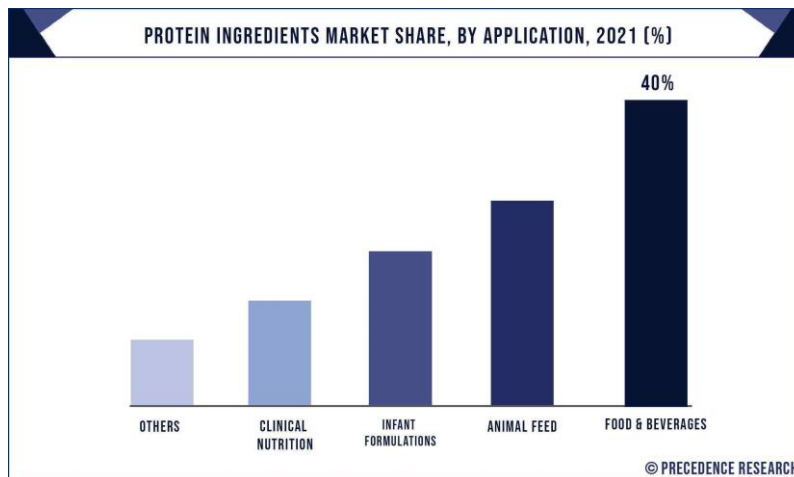
hvilket kan give problemer med fødevarer sikkerhed, mens andre forarbejdningsmetoder går specifikt efter at fjerne antinæringsstoffer.

Proteiningredienser kan bruges både til fødevarer og foder. I fødevarer bruges de f.eks. for at øge næringsværdien i forhold til protein eller som en funktionel ingrediens. I nogle tilfælde er proteinet hydrolyseret, dette kunne bl.a. være for at øge opløselighed eller bioaktivitet, hvor proteiningrediensen i så fald ofte omtales som et proteinhydrolysat, hvilket dog kan give problemer med den sensoriske kvalitet af produktet. I 2021 blev det globale proteiningrediensmarked vurderet til 72 milliarder \$ (US dollars), og forudsiges til at skulle stige til knap 115 milliarder \$ i 2030 (Figur 4.4.1) (Statista 2022a). Proteinpulver udgør en stor del af proteiningrediensmarkedet. Kilden til proteinpulver er oftest valle-, kasein-, soja-, ærte- eller æggeproteiner. I 2021 blev den globale markedsandel af valleprotein vurderet til 10,3 milliarder \$ (Statista 2022b). Valleprotein bruges både i medicinalvareindustrien som kosttilskud, men også i fødevarerindustrien, hvor forskellige valleprodukter bl.a. bruges i babymad, sportsernæring, bageri- og mejeriprodukter samt i diætmat og drikkevarer (Miljøstyrelsen 2019). Valleprotein er et godt eksempel på sidestrøm, der er blevet til et højværdiprodukt. Valle er en sidestrøm til osteproduktionen og blev i mange år betragtet som et affaldsprodukt, men med moderne teknologi er det blevet muligt at adskille protein fra laktose og vand i vallen og dermed skabe valleproteinkoncentrater og -isolater af høj værdi (ArlaPro 2019). Arla er en af de store spillere på proteiningrediensmarkedet herhjemme grundet produktionen af valleprotein. Danmark Protein, der er verdens største vallefabrik og som hører under Arla, modtager dagligt 13.000 ton valle primært fra Danmark, Sverige, Tyskland, Irland og England, og producerede i 2021 ca. 40.000 ton protein, der blev solgt til mere end 100 lande (Linddahl 2022). Danmark har ca. 15 % af verdensmarkedet for valleprotein (Dansk Industri 2022). Af det globale proteiningrediensmarked, går ca. 40 % til fødevarer, mens store andele også går til foder og modermælkserstatning (Figur 4.4.2). Selvom størstedelen af proteiningrediensmarkedet, mere præcist 71 %, udgøres af animalsk protein (Figur 4.4.3), ses den største vækstrate inden for planteprotein (Precedence Research 2022).

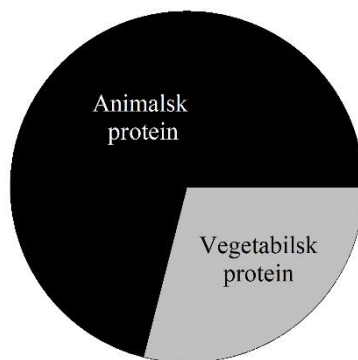




**Figur 4.4.1** Vækst i proteiningrediensmarkedet fra 2021-2030. Udviklingen i markedet er baseret på en markedsstørrelse på 72 mia dollars i 2021 og en annualiseret flerårig vækstrate (compound annual growth rate (CAGR)) på 5.9 % fra 2022 til 2030 (Precedence Research 2022).



**Figur 4.4.2** Den relative markedsandel af forskellige applikationer inden for proteiningrediensmarkedet i 2021 (Precedence Research 2022).



**Figur 4.4.3** Markedsfordeling af animalsk og vegetabilsk protein på det globale proteiningrediensmarked. Baseret på data fra (Precedence Research 2022).

Markedet for planteprotein vokser også og er estimeret til at have en årlig vækstrate på over 6 % fra 2021-2026. Sojaprotein udgør den største markedsandel, mens hvedeprotein også udgør en væsentlig andel (Figur 4.4.4) (Mordor Intelligence 2021b). Markedet for ærteprotein er dog i stor vækst, især pga. brug i køderstatninger, hvor ærteprotein har gode egenskaber i forhold til f.eks. teksturering og en forholdsvis neutral smag (Mordor Intelligence 2021a).

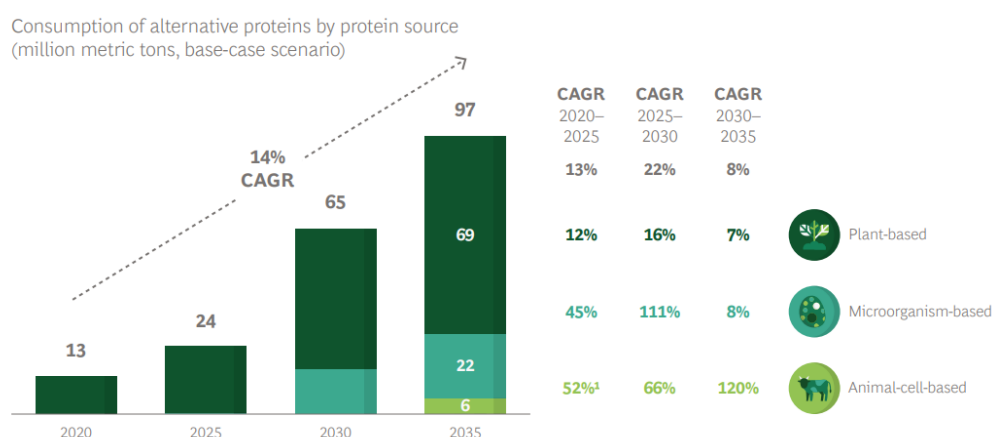


**Figur 4.4.4** Markedsandel af forskellige afgrøder på det Europæiske planteproteinmarked i 2020 (Mordor Intelligence 2021b).

## 5 Alternative proteinkilder og datablade

### 5.1 Alternative proteinkilder

Alternative proteinkilder defineres ofte som proteinkilder, der kan erstatte konventionelle animalske proteinkilder, som kød, mælk og æg, og ofte kommer fra enten planter, mikroorganismer eller er baseret på animalsk celledyrkning. Generelt forbindes alternative proteinkilder med at være mere bæredygtige, f.eks. i form af et lavere klimaaftryk i forhold til konventionelle proteinkilder. I 2020 blev der brugt ca. 13 mio. ton alternative proteiner til humant konsum, hvor de alternative proteiner blev solgt i produktalternativer til mælk, kød og æg. Plantebaserede plantedrikke udgør i øjeblikket den største andel af markedet for alternative proteiner. Det forventes at alternative protein udgør 11 % af proteinmarkedet i 2035 (Figur 5.1.1). Indtaget af alternative proteiner er størst i Asien, mens Europa kommer ind på en 2. plads mht. forbrug af alternative proteiner (Witte et al. 2021).



Sources: US Department of Agriculture; Euromonitor; UBS; ING; Good Food Institute; expert interviews; Blue Horizon and BCG analysis.

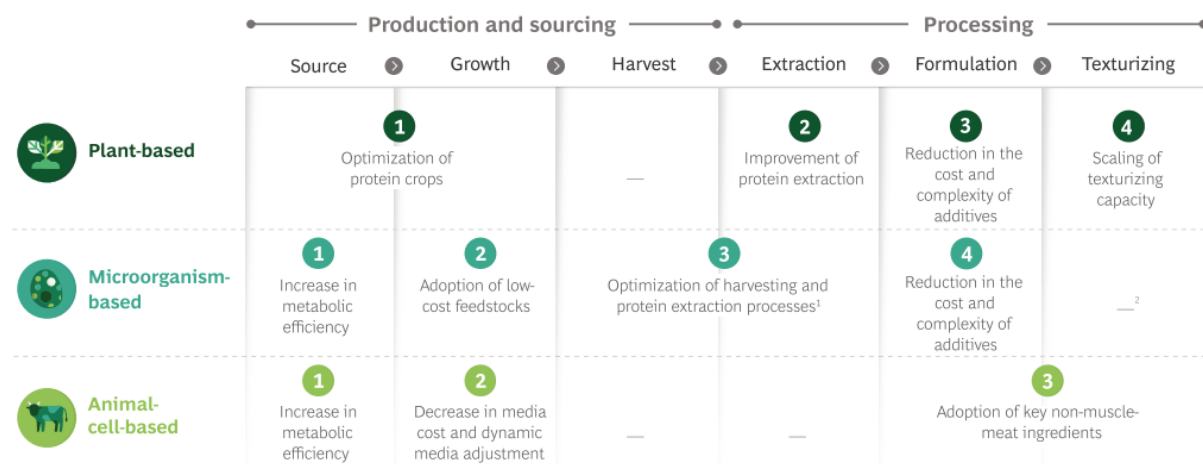
<sup>1</sup>CAGR from 2022 to 2025, starting from market entry.

**Figur 5.1.1** Det globale forbrug af alternative proteiner (millioner ton) til humant konsum i produktalternativer til mælk, kød, æg o.l., samt den forventede stigning i forbrug beregnet fra en annualiseret flerårig vækstrate (CAGR) på 14 %. Figur fra (Witte et al. 2021).

Selvom denne rapport afgrænser sig til protein, er det vigtigt at have øvrige makronæringsstoffer (fedt og kulhydrat), samt mikronæringsstoffer (vitaminer og mineraler) for øje, når der tales om et diætskifte til en mere plantebaseret og forarbejdet kost. Som eksempel indeholder kød og animalske fødevarer ud over proteiner også vigtige vitaminer såsom vitamin A, B6 og B12, samt mineraler som jern, zink og selen. Når man skærer ned på kød, er det derfor vigtigt at man sørger for at få disse næringsstoffer fra andre kilder. Ofte kan dette opnås ved at spise varieret.

En af de store udfordringer for alternative proteiner er blevet spået til at være forbrugeraccept, som belyses i afsnit 4.1.2. Selvom forbrugerefterspørgslen på alternative proteiner er stigende grundet øget interesse for

sundhed og klima i forbrugersegmenterne, er forbrugeraccept en væsentlig udfordring. De alternative proteiner skal ikke bare være sunde og klimavenlige, men også kunne konkurrere med de konventionelle proteiner på smag, tekstur og pris, hvilket kræver optimering langs værdikæden (Figur 5.1.2). Alt efter hvilken proteinkilde der benyttes til produktion af protein, vil det være nødvendigt at optimere på både produktionsmetoder og forarbejdning for at opnå produkter, der er sammenlignelige med konventionelle proteiner. Produktionen kan f.eks. omhandle planteforædling mod højt proteinindhold, lav enzymaktivitetsniveauer, f.eks. polyfenoloxidaseaktivitet og proteinaseaktivitet i specifikke planter. De to enzymaktiviteter har begge stor indflydelse på smag og sensorisk oplevelse. Samtidigt eller alternativt kan man hæmme disse enzymer eller frasortere deres substrater i forarbejdningsskridtet, hvor der ligeledes bør være et stort fokus på fjernelse af eventuelle toksiner. Derudover er også konkurrerende teknologier og teknologi-disruption nævnt som udfordringer (Witte et al. 2021).



**Figur 5.1.2** Nøgletrin i værdikæden, der kræver optimering for at opnå ligestilling på smag, tekstur og pris af alternative proteiner sammenlignet med konventionelle proteiner. Figur fra Witte et al. (2021).

### 5.1.1 Novel food-lovgivning

Mange af de grønne og alternative proteinkilder kræver en "novel food-godkendelse". En fødevarer anses som værende en "novel food" (ny fødevarer), hvis ikke fødevareren har været fortæret af mennesker i signifikant grad indenfor EU før 15. maj 1997. Produkter, der har været anvendt før denne dato anses ikke som novel food og må derfor anvendes som/i fødevarer. Produkter, der klassificeres som novel food, skal novel food-godkendes inden de må komme på markedet. Mange af de alternative proteinkilder falder ind under denne kategori og kræver derfor en "novel food-godkendelse" (Tabel 2.1). Dette skyldes bl.a. at fødevarer, der har været konsumeret uden for EU, men ikke i EU før 1997, anses som novel food (fx visse tangarter og svampe), samt at fødevarer med en ny eller modificeret molekylærstruktur også falder under denne forordning. Dette gælder også fødevarer isoleret fra eller produceret i kendte biomasser eller organismer, hvis ikke det specifikke produkt har været anvendt som fødevarer før 1997, uafhængigt af om den oprindelige biomasse/organisme har været anvendt tidligere. Mange af de grønne og alternative proteinprodukter kræver derfor novel food-godkendelse, før de må komme på markedet. Hertil skal det også nævnes, at der kan være databeskyttelse på novel food-godkendelser, hvilket betyder at kun ansøgers virksomheden må markedsføre produktet de første fem år. Dette kan potentielt være med til at forsinke udbredelsen af de specifikke produkter. Regulativet 2015/2283, der er den nyeste novel food bestemmelse, kan findes på <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2015/2283/oj>.

## 5.2 Fødevarer- og proteinkvalitet

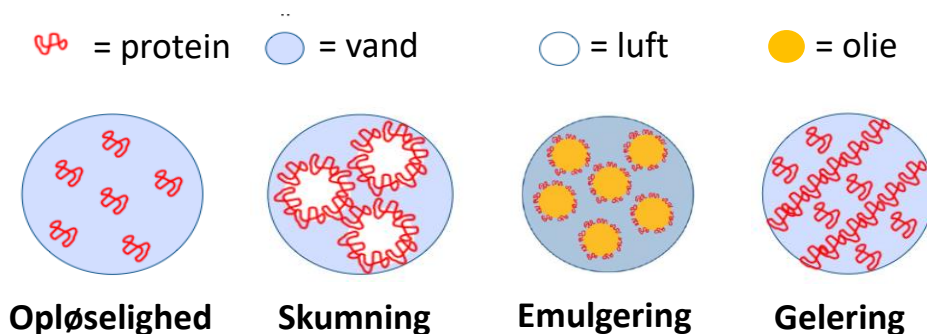
Ifølge Fødevarestyrelsen handler fødevarer-kvalitet om de sensoriske og ernæringsmæssige egenskaber samt produktionen af en fødevarer og "Helt overordnet kan fødevarer-kvalitet opdeles i objektiv og subjektiv kvalitet. Den objektive kvalitet af en fødevarer handler om de egenskaber ved fødevarer, som kan måles og dokumenteres, mens den subjektive kvalitet handler om forbrugerens opfattelse af fødevarerens egenskaber og karakteristika" (Fødevarerstyrelsen 2021). I databladene vil der flere gange blive nævnt "protein-kvalitet". På samme måde som fødevarer-kvalitet, vil proteinkvaliteten være defineret både ved ernæringsmæssige og sensoriske egenskaber, men også de funktionelle egenskaber af proteinproduktet. Processeringen af proteinerne kan påvirke kvaliteten af alle tre parametre. Nedenfor er de forskellige egenskaber beskrevet:

### 5.2.1 Sensoriske egenskaber

De sensoriske egenskaber relaterer sig til de indtryk af fødevarer, vi kan sanse: Smag og bismage, aroma og bi-lugte. udseende, farve, konsistens og eftersmag. De sensoriske egenskaber er centrale for at få salg-bare produkter og er ofte en udfordring for de nye alternative proteinkilder. Disse udfordringer kan bl.a. være farven af produkterne samt bismag, f.eks. grundet bitterstoffer, hvilket, udover ernæringsprofilen, kan være en grund til at oprense proteinerne for at få et produkt med mere neutral farve og smag.

### 5.2.2 Funktionelle egenskaber

De funktionelle egenskaber af et protein relaterer sig til de fysiske og kemiske egenskaber af proteinet i et produkt. Dette er f.eks. opløselighed af proteinet, skumnings- og gellingsegenskaber, og emulgeringsevne (Figur 5.2.1). Afhængig af opløseligheden vil protein f.eks. kunne indgå i en proteindrik, mens skumning og gellingsegenskaber afgør, om proteinet f.eks. kan bruges til hhv. at lave luftige kager eller budding. Emulgeringsevnen kan bl.a. have betydning for, om et protein kan bruges som emulgator til en mayonnaise. De funktionelle egenskaber afhænger i høj grad af forarbejdningsgraden, og i nogle tilfælde kan proteinkoncentrater (lavt proteinniveau) udvise bedre funktionelle egenskaber end proteinisolater (højt proteinniveau), da proteinkoncentrater er mindre forarbejdede (Corredig et al. 2020).



Figur 5.2.1 Funktionelle egenskaber af proteiner (Egen produktion).

### 5.2.3 Ernæringsmæssige egenskaber

De ernæringsmæssige egenskaber af et protein forholder sig til 1) aminosyresammensætningen af produktet, 2) proteinfordøjeligheden og 3) biotilgængeligheden.

## Definitionsboкс

### *Essentielle aminosyre*

Aminosyrer er byggestenene i et protein. Der er 20 forskellige aminosyrer, der bruges som byggesten til proteiner, heraf er 9 essentielle. De essentielle aminosyrer kan vi som mennesker ikke syntetiserer i kroppen, hvorfor vi skal indtage dem gennem kosten, for at opretholde normal kropsfunktion.

### *In vitro fordøjelighed*

Fordøjelighed testet udenfor den levende organisme, f.eks. i et reagensglas. Ofte tilsættes enzymer svarende til hvad der primært findes af fordøjelsesenzymer i hhv. munden (amylase), maven (pepsin) og tarmene (pancreatin; blanding af enzymer). Forskellige enzymer nedbryder hhv. protein, fedt og kulhydrater.

### *In vivo fordøjelighed*

Fordøjelighed testet i en levende organisme. Ofte bruges rotter eller grise som dyremodeller for den menneskelige fordøjelse. De tre nedenstående fordøjelighedsmål er alle *in vivo* fordøjelighed.

### *Råproteinfordøjelighed*

Råproteinfordøjelighed er et mål for den overordnede fordøjelighed af det totale protein (ofte baseret på nitrogen (N) indhold) gennem hele fordøjelsessystemet og kan bestemmes ved analyser af fæces. I et fordøjelighedsforsøg i rotter vil råproteinfordøjeligheden være det simpleste og billigste mål for proteinfordøjeligheden.

### *PDCAAS*

PDCAAS er den proteinfordøjelighedskorrigerede aminosyrescore (protein digestibility corrected amino acid score). Fordøjeligheden af det totale protein korrigeres i forhold til aminosyresammensætningen og sammenlignes med et referenceprotein. Referenceproteinet har en aminosyresammensætning, der opfylder menneskets behov (dette varierer pr. aldersgruppe) og har pr. definition en aminosyrescore på 100. Proteinets PDCAAS bestemmes af den begrænsende aminosyre; den aminosyre, der ligger lavest i forhold til referenceproteinet. Værdier over 100 (hvis et protein har et højere fordøjeligt indhold af en aminosyre end referencen) rundes ned til 100.

$$\text{PDCAAS (\%)} = \frac{\text{mg af den begrænsende aminosyre i 1 g testprotein}}{\text{mg af samme aminosyre i 1 g referenceprotein}} \times \text{proteinfordøjelighed (\%)}$$

### *DIAAS*

DIAAS er scoren for fordøjelige essentielle aminosyre (digestible indispensable amino acid score). DIAAS vurderes, ligesom PDCAAS, op imod referenceproteinet, men giver, i modsætning til PDCAAS, fordøjeligheden af den enkelte aminosyre, hvor PDCAAS tager udgangspunkt i fordøjeligheden af hele proteinet. Fordøjelighedsdata baseres oftest på prøver udtaget fra ileum (den sidste del af tyndtarmen). Et protein kan have en DIAAS på over 100, hvilket betyder proteinet har potentielle til at berige andre proteinprodukter.

$$\text{DIAAS (\%)} = \frac{\text{mg af fordøjelig begrænsende essentiel aminosyre i 1 g protein}}{\text{mg af samme aminosyre i 1 g referenceprotein}} \times 100\%$$

Proteiner er opbygget af aminosyrer. Nogle af disse aminosyrer er essentielle, hvilket betyder, vi ikke selv kan danne dem i vores krop, hvorfor det er vigtigt at disse indtages gennem kosten. Sammensætningen af aminosyrer i en fødevarer er vigtig, for at vi får dækket vores behov.

Fordøjeligheden af et protein er et udtryk for, i hvor høj grad proteinet kan nedbrydes til aminosyrer i vores fordøjelsessystem.

Biotilgængeligheden af et protein er et udtryk for om proteinerne optages over tarmvæggen, og hvor godt de optagede aminosyrer kan bruges som byggesten til nye proteiner i kroppen.

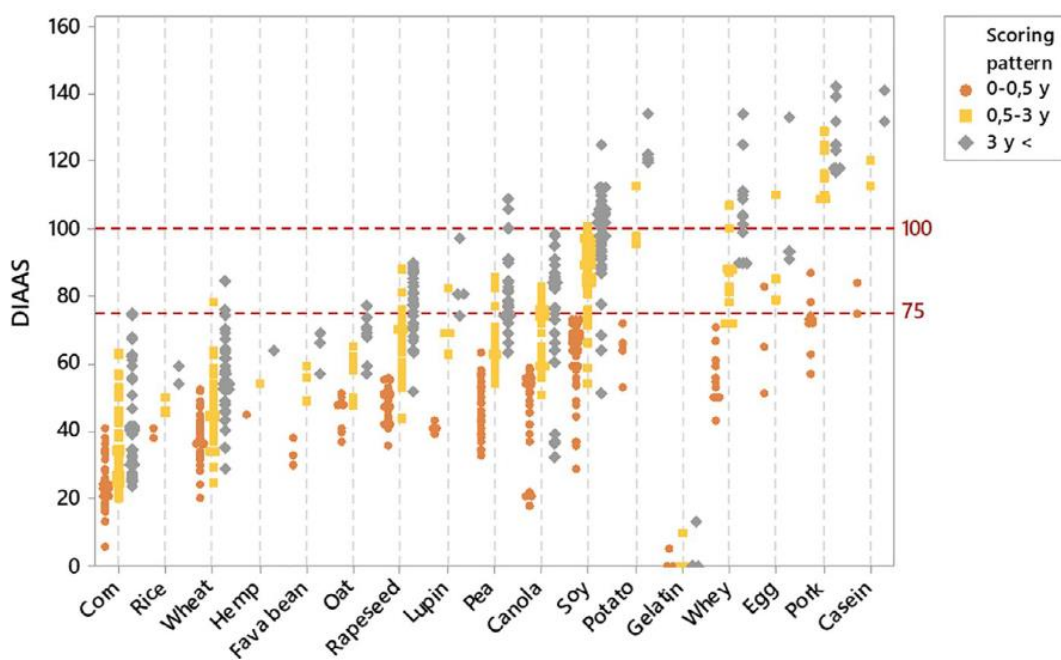
Både fordøjeligheden og biotilgængeligheden af et protein kan reduceres, hvis der er antinæringsstoffer til stede. Dette kan f.eks. være lektiner, som bl.a. findes i bønner. Disse kan dog uskadeliggøres ved korrekt tilberedning (iblødsætning og kogning). Store mængder af fibre kan også hæmme fordøjelighed og biotilgængelighed af et protein. Det samme gælder for hård processering, da dette kan inducere kemiske ændringer i proteinstrukturen, som forringer optagelse og videre brug af protein til syntese i kroppen. Derfor ser man ofte også en ringere fordøjelighed af planteprotein i forhold til animalsk protein – planter indeholder generelt langt mere fiber, og antinæringsstoffer er også at finde i forskellige biomasser, herunder både de førnævnte lektiner, men også andre stoffer som saponiner, tanniner, som er polyphenoler, og trypsininhibitorer, der hæmmer fordøjelsesenzymerne.

Ved at raffinere på planteproteiner, kan man reducere indholdet af fiber og antinæringsstoffer (Møller et al, 2021). Udover antinæringsstoffer kan nogle alternative proteinkilder eller proteinprodukter også indeholde sundhedsskadelige stoffer og toksiner. Det kan f.eks. være lektiner i bønner, glykoalkolider i kartofler og tungmetaller. Nogle af de sundhedsskadelige stoffer kan fjernes ved forarbejdning eller oprensning af proteinet, men i nogle tilfælde kan oprensning af protein være forbundet med en koncentreret af de sundhedsskadelige stoffer. Det er også en af grundene til at nye proteinprodukter fra alternative proteinkilder i mange tilfælde skal have en ny fødevareregodkendelse før de kan markedsføres. Det skal dog nævnes at oprensningen af protein med henblik på at fjerne antinæringsstoffer og øge proteinindholdet i proteinproduktet fra forskellige proteinkilder også kan betyde at indholdet af mikronæringsstoffer som vitaminer og mineraler reduceres i det endelige proteinprodukt.

Det er vist, at proteinfordøjeligheden generelt er lavere i traditionelle diæter i udviklingslande sammenlignet med vestlige lande, hvilket skyldes lavere indtag af animalske produkter, mindre forarbejdning af vegetabiliske proteinkilder og højere indhold af fiber og antinæringsstoffer i kosten (Gilani et al. 2012). Aminosyreprofilen af animalske proteiner er generelt mere komplet og indeholder alle de essentielle aminosyrer i nødvendige mængder, hvorimod mange planteproteiner har et lavt indhold af en eller flere essentielle aminosyrer. I bl.a. bælgfrugter er de svovlholdige aminosyrer, methionin og cystein, ofte begrænsende, hvor det i kornprodukter ofte er lysin (Mariotti 2017). Aminosyreprofilen af et protein er vigtigt i forhold til den



videre metabolisme i kroppen, hvor nye proteiner opbygges af aminosyrer, hvoraf de essentielle skal optages gennem kosten, mens non-essentielle aminosyrer kan dannes i kroppen. En blanding af forskellige proteinkilder, hvor hver enkelt proteinkilde har begrænset indhold af en eller flere aminosyrer, kan tilsammen give et mere komplet indtag af protein, hvilket er en af grundene til at det er vigtigt at spise varieret. I Tabel 5.2.1 ses fordøjeligheden samt den begrænsende aminosyre (den essentielle aminosyre med den lavest fordøjelige indhold i forhold til at få dækket aminosyrebehovet) for proteinkilderne, der skrives om i data-bladende. Figur 5.2.2 viser desuden hvordan DIAAS (se definitionsboks), kan variere for en proteinkilde. Dette kan bl.a. skyldes forskellig processing samt kvaliteten af start-råvaren.



**Figur 5.2.2** Variation i DIAAS af forskellige proteinkilder fundet i forskellige interventionsstudier med grise. DIAAS er beregnet ud fra proteinscorings-mønstre fra FAO (2013) for de forskellige aldersgrupper (0-0,5 år, 0,5-3 år og >3 år). Figuren er taget fra Herreman et al. (2020).

**Tabel 5.2.1** Ernæringsdata for alternative proteinkilder målt som henholdsvis råproteinfordøjelighed og fordøjelighed af essentielle aminosyrer ("digestible indispensable amino acid score" (DIAAS))

Alternativ proteinkilde	Råprotein-fordøjelighed*	DIAAS*	Begrænsende aminosyre	Reference
Bælgfrugter				
Ærteprotein koncentrat		73	Cystein/methionin	(Mathai et al. 2017)
Ærteproteinisolat	93	100		(Guillin et al. 2022)
Sojaproteinisolat	94	98	Cystein/methionin	(van den Berg et al. 2022)
Sojaproteinisolat	96	84	Cystein/methionin	(Han et al. 2020)

Kikærter		76	Lysin	
Bælgbladgrønt				
Lucerneplante	75		Cystein/methionin	(Stødkilde et al. 2019)
Lucerneprotein koncentrat	85		Cystein/methionin	
Hvidkløverplante	75		Cystein/methionin	
Hvidkløverprotein koncentrat	79		Cystein/methionin	
Svampe				
Champignon	81	40 <sup>&amp;</sup>	Cystein/methionin	(Dabbour og Tadruri 2002)
Østershat	73	45 <sup>&amp;</sup>	Cystein/methionin	
Tang				
Søl		69 <sup>&amp;#</sup>		(De Bhowmick og Hayes 2022)
Blæretang		8 <sup>&amp;#</sup>		
Savtang		63 <sup>&amp;#</sup>		(egne data)
Søsalat	45			
Søsalat protein koncentrat	63			
Blåmuslinger				
Muslingekød	85 (ileal)			(Nørgaard et al. 2015)
Raps				
Proteinisolat		83	Leucin	(Bailey 2021)
Proteinisolat, varmebehandlet		110	Lysin	
Kartoffel				
Tekstureret kartoffelprotein	93	115		(Hoffmann 2022)
Mask				
Protein fra byg- og ris-mask		51	Lysin	(EverGrain 2021)
Blod				
Bovin blodplasma koncentrat		93 <sup>#</sup>	Isoleucin	(Ariëns et al. 2021)
Blodmel	69 (ileal)			(Navarro et al. 2018)
Mikroalger				
<i>Chlorella vulgaris</i>		69 <sup>**</sup>	Cystein/methionin	(Qazi et al. 2021)
<i>Microchloropsis gaditana</i>		73 <sup>**</sup>	Cystein/methionin	

Single cell				
	Mycoprotein		91-99 <sup>&amp;</sup>	(Zeng et al. 2022)
	Gærprotein koncentrat		82-90 <sup>&amp;</sup>	
Præcisionsfermentering				
Forventes at være sammenligneligt med det tilsvarende animalske protein				
<i>In vitro</i> kød				
Forventes at være sammenligneligt med det tilsvarende animalske protein				
Cellulær mælk				
Forventes at være sammenligneligt med mælkeprotein				
Insekter				
	Stribet fårekylning		92	Cystein/methionin (Malla et al. 2022)
	Sort soldaterflue		68	Lysin
	Alm. melorm		64	Cystein/methionin
	Lille melorm		83	Cystein/methionin
<i>Andre kilder</i>				
Animalske produkter				
	Mælkeprotein koncentrat	97	141	Cystein/methionin (Mathai et al. 2017)
	Valleprotein isolat	96	125	Histidin
	Rå hakket oksekød		121	Leucin (Bailey et al. 2020)
	Tilberedt hakket oksekød		99	Leucin
	Kyllingebryst		108	Tryptofan (Phillips 2017)
	Hårdkogt æg		113	Histidin
	Hvede	86	54	Lysin (Mathai et al. 2017)
	Ris		59	Lysin (Phillips 2017)

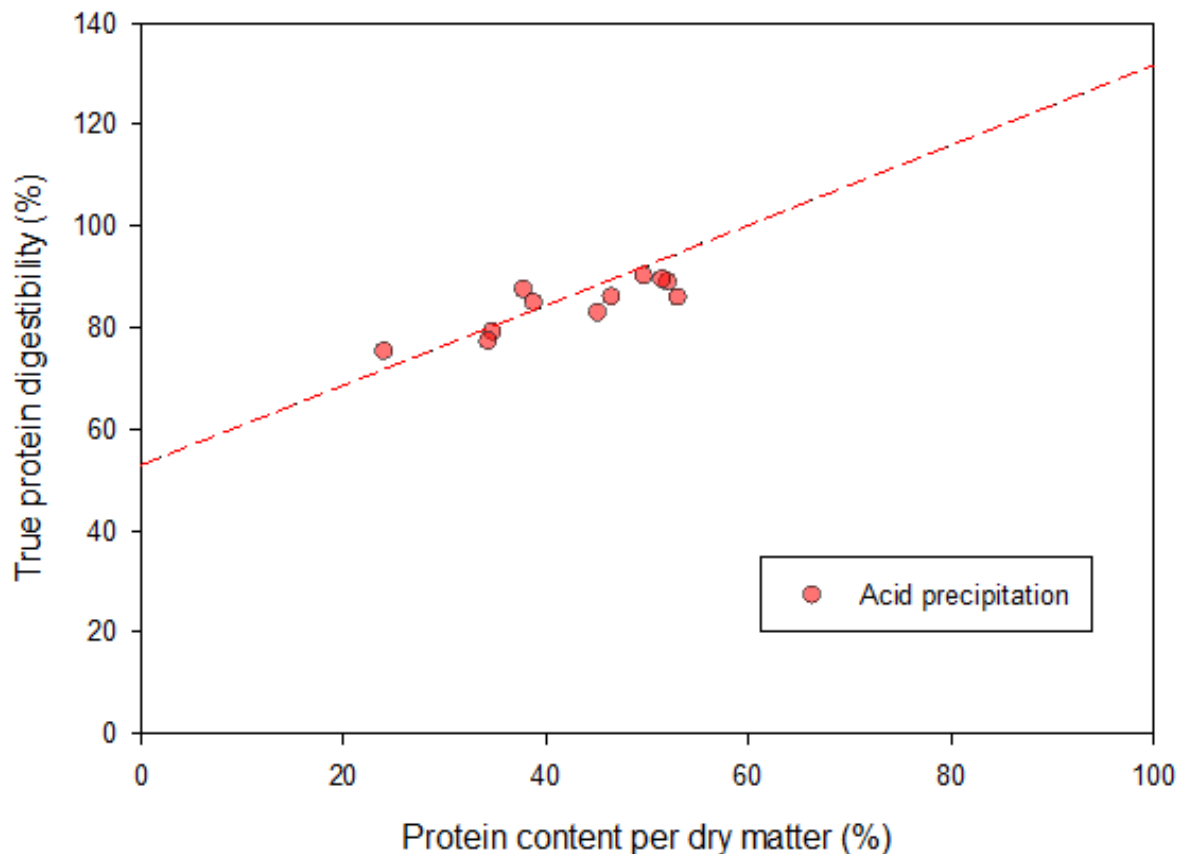
\*DIAAS for >3 år. En værdi over 100 angiver at protein er af meget høj kvalitet, mens en score på 75-100 viser en god/acceptabel kvalitet.

; \*Råproteinfordøjelig gennem hele fordøjelsessystemet, medmindre andet er angivet (ileal = fordøjelighed målt efter tyndtarmen); \*\*Ingen tilgængelige studier, men estimeret af Qazi et al. (2021) ud fra publiceret data; #*in vitro*;

&PDCAAS

Som det fremgår af Tabel 5.2.1 har proteinkoncentrater en lavere fordøjelighed end deres tilsvarende proteinisolater fra samme kilde, hvilket kan hænge sammen med et lavere proteinniveau i proteinkoncentraterne i forhold til proteinisolaterne. Et review på bladgrønne proteinkoncentrater har således indikeret, at der er en positiv sammenhæng mellem proteinniveauerne i et proteinpulver og proteinfordøjeligheden (Figur 5.2.3) (Møller et al. 2021). Det skal dog nævnes, at disse data kommer fra grønne proteinkoncentrater med foderkvalitet, og der mangler data på fødevarerprotein fra disse proteinkilder. For at opnå dette kan en gennemgribende forarbejdning være nødvendigt for at opnå fuld proteinfordøjelighed, så vi går fra prote-

inkoncentrater til proteinisolater. Kommercielle proteinkoncentrater indeholder for det meste 70-80 % protein, men kan være helt ned til 25 % protein, afhængigt af, hvilken biomasse og forarbejdningsprocessen. Proteinisolater har over 80 % protein, men de fleste kommercielle proteinisolater er > 90 % protein.

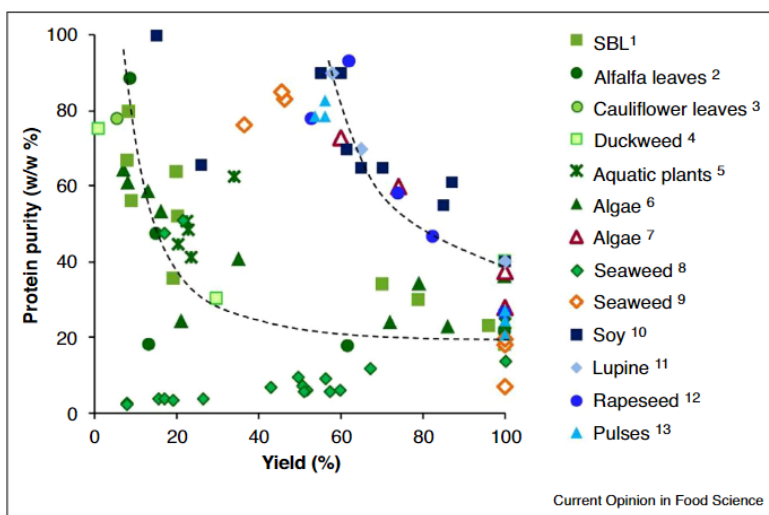


**Figur 5.2.3** Proteinfordøjelighed (råprotein) vist som funktion af proteinindholdet. Figuren er modificeret fra (Møller et al. 2021).

### 5.3 Forarbejdning - Processeringsmetoder

Alternative proteinkilder kræver ofte en form for forarbejdning førend de kan bruges som en decideret kilde til protein i fødevarer. Her kan som eksempel nævnes bladbælgplanter såsom lucerne og kløver, hvor proteinet skal ekstraheres ud af planten for at koncentrere proteinet og samtidig fjerne antinæringsstoffer og fibre, for at øge potentialet for fødevarer. Det samme er gældende for sidestrømme fra f.eks. rapsolie- og kartoffelstivelses-produktionen, hvor processering er nødvendig for at øge værdien af sidestrømmen i forhold til fødevarer af proteinet. Andre alternativer bruges allerede i dag til direkte konsum, eksempelvis tang, men kræver forarbejdning, hvis det skal ses som en decideret proteinkilde. Dette særligt for at koncentrere proteinet og øge fordøjeligheden heraf. Ofte er der en omvendt sammenhæng mellem renheden af det ekstraherede protein og proteinudbyttet, hvilket er illustreret i Figur 5.3.1. Derudover er der

også alternative proteinkilder, der går til direkte konsum og ikke nødvendigvis kræver ekstraktion af proteinet. Dette gælder bl.a. for bælgrugterne.



**Figur 5.3.1** Proteinudbyttet (yield) af ekstraheret protein som funktion af proteinrenheden (protein purity) af forskellige biomasser. SBL: Sugar beet leaves (sukkeretoppe). Figuren er taget fra (Schweiggert-Weisz et al. 2020).

Hvilken metode, der bruges til at ekstrahere/oprense protein vil ofte være forskellig mellem forskellige biomasser, da optimalt produktudbytte og -kvalitet vil være afhængig heraf. Ofte skal processerne optimeres i forhold til den specifikke biomasse/matrice. Princippet bag nogle af de væsentligste processeringsmetoder i forhold til alternative proteiner er beskrevet kort herunder.

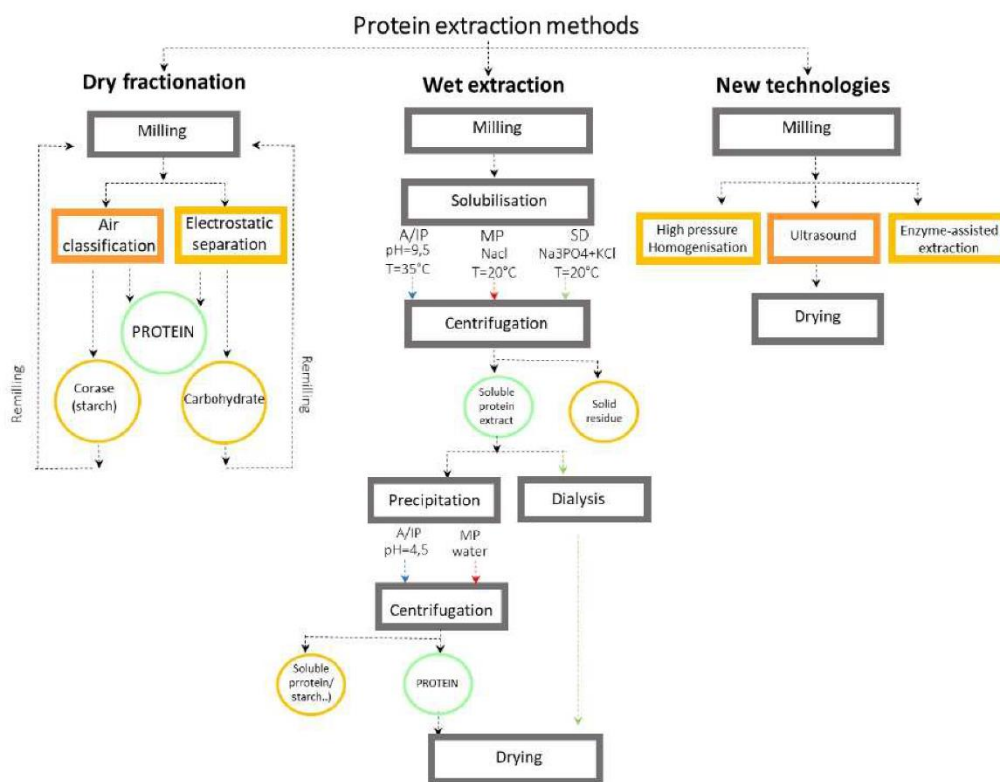
### 5.3.1 Tørfraktionering

I tørfraktionering er biomassen tør og bliver malet til mel. Komponenterne i melet, såsom stivelse, protein og fiber, kan herefter fraktioneres på baggrund af partikelstørrelse og vægt (Figur 5.3.2). Især protein fra bælgrugter kan koncentreres på denne måde, da deres stivelsespartikler ofte er meget uniforme i størrelsen, hvilket gør dem lette at skille fra den resterende matrice, samt at bælgrugter indeholder en stor mængde lagringsproteiner. I bælgrugter med højt fedtindhold (olie), f.eks. soja, skal olien først trækkes ud af bælgrugten for at få en effektiv fraktionering. Tørfraktionering bruges især til at producere proteinrigt mel fra bælgrugter (Neji et al. 2022), hvorved slutproduktet oftest er et proteinkoncentrat. Lagringsproteinerne er lettere tilgængelige for ekstraktion i forhold til strukturelle og enzymatiske proteiner, der ofte er bundet til andre komponenter i cellen, f.eks. i cellemembranen eller i kloroplaster, som det bl.a. ses i bladbælgrugter.

### 5.3.2 Vådekstraktion

Ofte kan der opnås en højere renhed af proteinproduktet gennem vådekstraktion sammenlignet med tørfraktionering. I vådekstraktion males/presses den våde/friske biomasse. Ved en presning kan biomassen eksempelvis fraktioneres ud i hhv. en juice-fraktion og en fiber-fraktion, hvor juice-fraktionen vil indeholde

opløseligt protein. Våd ekstraktion kombineres ofte med alkalisk ekstraktion. Denne metode kan bruges på en lang række forskellige plantematerialer. Ved at øge pH f.eks. ved at tilsætte natriumhydroxid eller ammonium, kan opløseligheden af proteinerne øges (Figur 2.3.1) (Møller et al. 2021, Neji et al. 2022). Alkalisk ekstraktion kan bl.a. ses i kombination med forskelligt tryk og temperatur, samt ultralyd, og kan benyttes på både tørret og vådt materiale. Alkalisk ekstraktion kan have den ulempe, at den høje pH kan medføre forringelse af proteinkvaliteten ved at initiere krydsbindinger og oxidation. Det opløselige protein i væskefraktionen, både efter presning og alkalisk ekstraktion, kan koncentreres f.eks. ved en varmfældning, hvor jui- cen varmes op til 80-90°C hvormed proteinerne bundfældes, eller en isoelektrisk fældning, hvor proteinet bundfældes ved ændring af pH. Ønskes et proteinisolat, kan proteinerne oprensnes gennem dialyse eller filtrering af jui- cen. Forskellige forbehandling til vådekstraktion, såsom enzymatisk behandling eller "pul- sed electric field", kan anvendes for at øge udbyttet (Møller et al. 2021).



**Figur 5.3.2** Gængse proteinekstraktionsmetoder, der især bruges for bælgfrugter. A/IP: Alkalisk/isoelektrisk fældning, MP: Micellar fældning, SD: Saltdialyse (Neji et al. 2022).

### 5.3.3 Fermentering

Fermentering kan overordnet inddeles i traditionel fermentering, biomassefermentering og præcisionsfermentering (GFI 2022a). Den traditionelle fermentering, er den der kendes fra bl.a. produktion af øl, ost og yoghurt, hvor fødevarematricen ændres gennem mikrobiel anaerobisk fordøjelse. I mejeriprodukter bruges mælkesyrebakterier til at syrne/sænke pH, hvilket sker ved at bakterierne under forbrug af mælkesukker

(laktose) producerer mælkesyre. Dette har effekt på både smag og konsistens og er det der gør at f.eks. yoghurt tykner og at ost koagulerer. Generelt kan traditionel fermentering forøge brugen af en råvare ved at ændre på konsistens og smag, og dermed skabe et nyt produkt, samt forlænge holdbarheden. Der findes eksempelvis mange forskellige fermenterede sojaprodukter, herunder tempeh, som er lavet af sojabønner fermenteret med brug af en *Rhizopus* skimmelsvamp (GFI 2022b). Fermentering kan også øge fordøjeligheden af en råvare. Dette ses f.eks. ved alternative proteinkilder, hvor f.eks. fermentering af ris- og ærteprotein med shiitake mycelium bruges til at lave køderstatningsprodukter (Clark et al. 2022). Mikroorganismer, som bruges til fermentering, vokser og reproducere sig hurtigt, hvilket betyder at mængden af mikroorganismer kan mere end fordobles inden for få timer. Dette udnyttes ved biomassefermentering, hvor mikroorganismene udgør selve produktet og dyrkes i en bioreaktor. Mikroorganismene har ofte et højt indhold af protein. Under biomassefermentering hører bl.a. mikroalger og single-cell fermentering, som der kan læses mere om i databladene. Databladene indeholder også en sektion omkring præcisionsfermentering, der kort beskrevet er brug af mikroorganismer til at producere specifikke funktionelle ingredienser (GFI 2022a).

## 5.4 Datablade

Det følgende indeholder datablade, der beskriver forskellige alternative proteinkilder til humant konsum, enten direkte eller/og efter forarbejdning. For hver proteinkilde er der skitseret rationalet for at overveje denne alternative proteinkilde, hvor moden teknologien er, hvad produktionspotentialet er i Danmark under de givne forudsætninger, anvendelsesmulighederne, herunder f.eks. funktionelle egenskaber og proteinfordøjelighed. Eksportmuligheder er skitseret, samt, hvor det er muligt, de forventede klima- og miljøeffekter og barrierer for en evt. implementering.

De følgende datablade dækker over vurderinger af i) landbaserede biomasser med bælgfrugter, bladgrønt (også kaldet grøn biomasse) samt svampe, ii) marine biomasser med tang og muslinger, iii) sidestrømme fra eksisterende fødevarerproduktioner med raps, kartoffel, mask, og blod, iv) mikrobielt protein med mikroalger, single cell, præcisionsfermentering, v) mammale celler, i form af kultiveret kød og cellulær mælk og vi) insekterne.

Proteinerne er vurderet i forhold til fødevarer, således med et mål om at opnå nye højværdi-proteinprodukter med gode sensoriske og funktionelle egenskaber og høj næringsværdi. En del er ikke "nye" proteiner, da flere allerede anvendes til foder med godt resultat, men nu står de for en opgradering til fødevarer. Vi har ikke kendskab til økonomiske analyser af disse fødevarerproteiners konkurrenceevne, men man må forestille sig, at en langt højere værdi end for foderprotein, hvilket er indikeret for f.eks. valle- og sojaprotein. Krav fra forbrugere og dermed merværdi er en motivation for de involverede firmaer i at engagere sig i udviklingsarbejdet.

De fulde referencer findes i den samlede referenceliste. Ligeledes er de relevante ressourcepersoner anført, der har udarbejdet teksten på baggrund af litteraturgennemgang og/eller deres medvirken ved forsknings- og udviklingsaktiviteter på området.



## 5.4.1 Bælgplanter til både direkte konsum og raffinering

*Forfattere: Nina Aagaard Poulsen og Trine Kastrup Dalsgaard*

### Rationale/idegrundlag

Bælgplanter tilhører ærteblomstfamilien og dækker over diverse kikærter, linser, ærter og bønner. Bælgplanter er nitrogenfikserende planter med et godt udbytte og et højt proteinindhold. Da de tørrede bælgfrugter er nemme at opbevare og billige at producere, er bælgfrugter vigtige proteinkilder for en stor del af verdens befolkning, hvor animalsk protein kun udgør en mindre del af kosten (Rahate et al. 2021). Endvidere har bælgfrugter generelt et lavt indhold af fedt, og et højt indhold af kulhydrater samt en række vigtige mikro-næringsstoffer, som øger bælgfrugternes ernæringsværdi. Bælgplanter dyrkes især i Asien og Midelhavslandene og har i Danmark primært været dyrket til foder. Især dyrkes ærter og hestebønner, mens linser og lupiner er mindre afgrøder. Sorter, der dyrkes til foder, kan i nogen grad også anvendes til fødevarer og en lang række sorter kan dyrkes både under konventionelle og økologiske forhold. I de nye kostråd fra 2021 anbefales et dagligt indtag på 100 g tilberedte bælgfrugter ([www.altomkost](http://www.altomkost)), som et vigtigt og klimavenligt alternativ til de animalske proteiner. Tørrede bælgfrugter har en lang holdbarhed og sammen med diverse forarbejdede fraktioner en lang række anvendelsesmuligheder og dermed et stort potentiale for reelt at bidrage til grøn omstilling af vores kostvaner.

### Anvendelsesmuligheder

Bælgfrugter kan dyrkes til modenhed og tørres eller høstes grønne, hvilket i Danmark især er i form af grønne ærter. Den danske produktion af grønne ærter direkte til konsum har været stor, men forsvandt i slutningen af sidste århundrede, og de fleste grønne ærter bliver nu produceret andet steds i Europa, f.eks. Polen og Baltikum, men den totale ærteproduktion i Europa er gået ned (FAOSTAT 2022b). De tørrede bælgfrugter tæller bl.a. sorte og hvide bønner, kidney bønner, sojabønner, røde og grønne linser, flækærter, hestebønner og kikærter. De tørrede bælgfrugter kan efter udblødning og kogning indgå direkte i en lang række gryderetter eller blendes og bruges til falafler, humus mv. Efter afskalning kan bælgfrugterne formales til mel og anvendes i bagværk mv eller våd- eller tørfraktioneres til mere proteinrige fraktioner. Mel fra bælgfrugter vil typisk indeholde mindre end 30% protein, proteinkoncentrater mellem 30-85% protein og proteinisolater mere end 85% protein (Amin et al. 2022). Tørfraktionering af bælgfrugter sker efter afskalning og formaling på f.eks. en knivmølle, hvorefter melet vindsigtes for at øge proteinindholdet. Vindsigtning separerer melet på baggrund af densitet ved at dele fraktionerne i en luftstrøm. Herved dannes en grov (primært kulhydrat, lidt protein) og en fin proteinrig fraktion. Proteinkoncentrat fra vindsigtning kan anvendes til bl.a. ekstruderede produkter, hvor proteiner bearbejdes under tryk, hvilket giver dem struktur, så de kan anvendes til en lang række plante-baserede køderstatningsprodukter. Vådfraktionering er en kemisk forarbejdning af formalede bælgfrugter til protein-koncentrat eller -isolat, som kan anvendes som ingredienser i en lang række produkter (inkl. snacks og pasta) eller sælges som f.eks. vegansk proteinpulver i forbindelse med sportsernæring.

## Teknologiens modenhed

En række virksomheder sælger dansk-producerede tørrede ærter, hestebønner og linser samt mel fra disse (f.eks. Pure Dansk). Endvidere findes produktionsanlæg til ekstrudering af proteiner fra bælgfrugter især hestebønner og ærter som sælges som køderstatningsprodukter (Organic Plant Protein). Yderligere anvendes proteiner fra bælgfrugter i plantedrikke og en lang række øvrige produkter (Naturli, Dryk). Bælgfrugter har et højt proteinindhold og en god aminosyresammensætning karakteriseret af et højt indhold af aminosyren lysin. Til gengæld har bælgplanter generelt et lavt indhold af svovlholdige aminosyrer såsom methionin og cystein. DIAAS score, som beskriver fødevarernes fordøjelighed er væsentligt højere for soja og ært end for f.eks. hvede (Mathai et al. 2017). Bælgplanter indeholder også en række vigtige vitaminer og mineraler, som varierer fra bælgfrugt til bælgfrugt men også en lang række antinæringsstoffer, som enten kan have sundhedsskadelige effekter eller hindre/formindske optag af mikro-næringsstoffer. Bælgfrugter kan især have et højt indhold af lektiner, som kan have en toksisk effekt, idet de binder sig til kulhydrater i tarmslimhinden. Gennem udblødning og kogning vil lektinernes skadelige effekt forsvinde. Øvrige antinæringsstoffer, som kan have betydning ved indtag af bælgfrugter, er f.eks. polyphenoler (inklusive tanniner), trypsininhibitorer, og fytinsyre (Amin et al. 2022). Saponiner er en af de mest dominante grupper af antinæringsstoffer i ærter, mens hestebønner har et højt indhold af vicin og convicin, som er glycosider, der kan have en alvorlig effekt i personer, som genetisk disponeret for mangel på enzymet glucose-6-phosphate-dehydrogenase. Indenfor planteforædling er der betydeligt fokus på genomisk karakterisering af disse uønskede komponenter, så nye linjer med lave niveauer kan udvikles. En sådan kortlægning har for nyligt identificeret det gen som påvirker indholdet af vicin og convicin i hestebønner, hvilket er første skridt for at udvikle vicin-frie hestebønner gennem forædling (Bjørnsdotter et al. 2021).

Afhængig af forarbejdningsmetode, proteinindhold og sammensætning kan proteinkoncentrater og -isolater baseret på forskellige bælgfrugter variere i deres opløselighed og funktionelle egenskaber, hvilket har betydning for de specifikke anvendelsesmuligheder (Boye et al. 2010). Ærteproteinisolater fra vådekstraktion viser f.eks. en ret ringe opløselighed, som dog kan forbedres ved en alkalisk eller termisk forbehandling (Kristensen et al. 2020, Jiménez-Munoz et al. 2021). Det har dog konsekvenser for proteinstrukturen og isolaternes funktionelle egenskaber (Kristensen et al. 2020) samt proteinfordøjelighed (Jiménez-Munoz et al. 2021). For både ært og hestebønne findes der både produkter fra tørrestraktion (vindsigtning) og vådestraktion på markedet, men der er dog et stykke vej at gå, før der er kvaliteter på højde med valle- og soja-proteinprodukter.

## Produktionspotential i DK

I 2020 blev der globalt produceret 89,82 millioner ton bælgfrugter med et produktionsareal på 93,18 millioner hektar (FAOSTAT, 2022). Den samlede produktion af bælgfrugter i EU var i 2020 på 4,46 millioner ton, mens kun 0.7 % af landbrugsarealet i Danmark bliver anvendt til bælgplanter (FAOSTAT, 2018). Hestebønner har været dyrket som proteinafgrøde til den animalske produktion. Landsforsøgene tester årligt en lang række sorter af bælgfrø. F.eks. blev der i 2021 testet 13 sorter af hestebønner, hvor måleblanding gav

et udbytte på 52,5 hkg. per hektar, hvilket var betydelig lavere end udbyttet i 2020 (Landbrug og Fødevarer 2021). I NORFAB-projektet er det vurderet, at et realistisk mål – forudsat vellykkede resultater af projektet – vil være en udbredelse i størrelsesordenen 100.000 ha med hestebønner på bekostning af korn. Ved et praksisudbytte på 60 hkg per ha og 28 % protein i bønnerne betyder det et bidrag på ca. 170.000 ton protein på længere sigt på bekostning af 60.000 ton protein i korn, eller en nettoforøgelse på 110.000 ton protein. Afhængig af succesen med forædlingen vil udbyttet også kunne forøges på kort sigt (Gylling og Hermansen, 2018). Endvidere er der testet forskellige sorter af ærter, kikærter og lupiner. Fokus er på sædskifte, udbytte, robusthed over for skadedyr og sygdomme og i forhold til bælg-sæd til fødevarer er der i hestebønner testet for indhold af tannin, vicin og convicin. Dog har forædlings-strategierne indtil nu primært været fokuseret på totaludbytte som forædlingsparameter, fremfor proteinniveau. Nordic Seed udfører planteforædling og tester såsæd på en række forsøgsstationer i Danmark og i udlandet, hvilket i 2019 resulterede i en omsætning på omkring 250 mio. kr. Aarhus Protein afskaller ærter og hestebønner, og har i samarbejde med det belgiske firma Cosucra en produktion af ærteproteinisolat frembragt ved vådekstraktion, mens al vindsigtet ærteprotein-koncentrat importeres fra bl.a. Norge.

#### Ekспорт-potentiale

Ekспортmulighederne kan være salg af proteinkoncentrat og -isolater, plantedrikke og ekstruderede produkter mellem forretningspartnere/business-to-business. I øjeblikket er proteinmarkedet umætteligt, men for at forbrugerne skal vælge bælgproteinkoncentrater og -isolater, er der brug for forbedret kvalitet på opløselighed og smag.

#### Klima- og miljøeffekter

Hestebønner og ærter forventes at erstatte korndyrkningen. Det betyder typisk en lidt lavere biomasse- og energiproduktion, men en højere proteinproduktion. Der forventes en mindre udledning svarende til 1,5-2,0 t CO<sub>2</sub>-eq pr ha. hestebønne. Bælgplanterne er nitrogenfikserende og kræver derfor ikke samme gødsning som andre afgrøder, men der kan forventes en lidt større udvaskning end med korn, da der efterlades meget N-holdig biomasse med lavt C/N-forhold på marken efter høst (Gylling og Hermansen, 2018). Bælgplanter er gavnlige i forhold til kvælstoftilførsel til jorden og vigtige i forhold til sædskifte især i den økologiske produktion (Zhao et al. 2022).

#### Barrierer

Der findes pt ikke et industrielt vindsigtning-anlæg i Danmark, så danskproducerede bælgplanter skal fragtes til f.eks. Norge for at blive forarbejdet før proteinkoncentrat kan anvendes til f.eks. ekstruderede produkter. Der er brug for yderlig forskning i planteforædling og udvikling af nye sorter med fokus på udbytte, proteinindhold eller specifikke indholdsstoffer f.eks. antinæringstoffer især indenfor økologisk produktion, idet en række etablerede firmaer producerer økologiske produkter. Mindre udbredte bælgplanter såsom lupiner, linser og kikærter bør også testes yderligere i markforsøg. Der mangler stadig viden om ernærings-

værdi og antinæringsstoffer i diverse sorter samt effekten af afskalning, tør og våd fraktionering og yderligere forarbejdning på disse. Der mangler også viden om proteiners funktionalitet og mulig anvendelse til en række produkter samt hvordan disse fordøjes og påvirker optaget af mikronæringsstoffer. Hos forbrugere er smag, tekstur og viden om anvendelse af bælgfrugter i køkkenet barrierer for øget indtag (Løbner et al. 2022). Både ærte- og hestebønneproteiner har markante smage, som mange forbrugere har svært ved at forliges med. Smagsneutrale sorter ønskes derfor i ekstruderede produkter og plantedrikke, hvorimod mere karakteristiske smagsnoter kan være ønskværdige for forbrugere og madprofessionelle. Dermed er udvikling af sorter med forbedret smag og tekstur vigtigt, sammen med pris, ernæringsværdi og clean label.

#### Kilder

- Amin et al., 2022, <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00464>
- Björnsdotter et al., 2021, <https://doi.org/10.1038/s41477-021-00950-w>
- Boye et al., 2010, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.021>
- FAOSTAT 2022, 2022 [FAOSTAT](#)
- Gylling og Hermansen, 2018 [IFRO Udredning\\_2018\\_08.pdf \(ku.dk\)](#)
- Jiménez-Munoz et al. 2021, <https://doi.org/10.1039/D1FO01223A>
- Kristensen et al., 2020, <https://doi.org/10.1111/ijfs.14553>
- Landbrug og Fødevarer 2021, [https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/pub-lic/b/2/4/planter\\_landforsogene\\_2021.pdf](https://www.landbrugsinfo.dk/-/media/landbrugsinfo/pub-lic/b/2/4/planter_landforsogene_2021.pdf)
- Løbner et al., 2022, <https://dcapub.au.dk/djifpublikation/djifpdf/DCArapport198.pdf>
- Mathai et al., 2017, <https://doi:10.1017/S0007114517000125>
- Rahate et al., 2021, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110796>
- Zhao et al., 2022, <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32464-0>

## 5.4.2 Proteiner frembragt ved raffinering af grønne afgrøder såsom græsser

*Forfattere: Anders Hauer Møller og Trine Kastrup Dalsgaard*

### Rationale/idegrundlag

Protein fra grønne afgrøder er interessant, fordi de grønne afgrøder giver høje protein-udbytter per areal i forhold til traditionelle afgrøder (Solati et al. 2018). De grønne afgrøder dækker normalt over græsser, kløver og lucerne, men andet bladgrønt som sukkerroetoppe er også blevet undersøgt i forhold til ekstraktion af protein. Græs, kløver og lucerne bliver allerede brugt som foder til flermavede dyr, men kan ikke anvendes som foder til enmavede dyr eller i fødevarer pga. et højt indhold af ufordøjelige fibre. Derfor skal proteinet udvindes fra plantematerialet, før det kan bruges i fødevarer. En stor del af det opløselige protein i de grønne afgrøder er det fotosyntetiske protein, RuBisCO (Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase), og RuBisCO fra forskellige planter har vist sig at have gode funktionelle egenskaber, der kan bruges i forskellige fødevarerapplikationer og proteinet har en udmærket aminosyresammensætning (Møller et al. 2021). Lucerneprotein er godkendt til fødevarerindtag af EFSA, men kun ved et begrænset dagligt indtag (Bresson et al. 2009).

### Anvendelsesmuligheder

Proteinet fra de grønne afgrøder skal ekstraheres fra det fiberholdige plantemateriale, før det kan anvendes i fødevarer. Proteinet separeres typisk fra biomassen ved at presse biomassen i en skruepresse, hvilket resulterer i en grønsaft og en pressepulp. Grønsaften indeholder opløseligt protein, der kan opkoncentreres med forskellige metoder og tørres for at give et proteinpulver. Hvis der ikke oprenses yderligere på proteinet, vil man opnå et grønt proteinprodukt. Dette proteinprodukt kan i princippet bruges i fødevarer eller som et protein supplement, men brugen begrænses ikke alene af den grønne farve men også af dårlig (græsagtig/staldagtig) smag og lugt og indhold af antincæringstoffer, der forbindes med det grønne materiale. Derfor bliver det grønne proteinprodukt typisk brugt som foder til enmavede husdyr som grise og fjerkræ. For at opnå et proteinprodukt, der kan bruges som en fødevarer ingrediens, er det nødvendigt at oprense proteinet for at fjerne den grønne farve og andre komponenter, der kan bidrage til dårlig smag og lugt, hvilket undersøges i flere danske projekter.

### Teknologiens modenhed

Der findes allerede produktion af protein fra grønne afgrøder i DK, men produktionen er fokuseret på produktion af protein til foder, og der findes endnu ikke kommerciel produktion af protein fra grønne bladbiomasser af fødevarer kvalitet i Danmark. Internationalt findes der produktioner af fødevarer kvalitets lucerneprotein, der dog ikke er oprenset protein, der kan indtages i op til 10 g/d (Bresson 2009). Der findes også anlæg til større skala til produktion af oprenset RuBisCO-protein fra sukkerroetoppe i Holland. Det oprensede RuBisCO-protein har vist sig at have gode funktionelle egenskaber (Martin et al. 2014, Martin et al. 2019), men er endnu ikke godkendt til fødevarerbrug. Der ligger allerede en del viden på oprenset lucerne-

protein, som også har gode funktionelle egenskaber (Nissen et al. 2021). Der findes forskellige metoder til at oprense proteinet og fjerne den grønne farve, såsom varmebehandling og membranfiltrering, hvilket i øjeblikket bliver belyst i forskellige projekter. Til gengæld er der endnu ikke demonstrationsanlæg til produktion af oprenset protein fra lucerne, og der mangler stadig at blive udviklet på oprensningmetoden for at opnå større udbytte af oprenset protein, for at det kan anvendes til fødevarer. På andre typer af afgrøder som græs og kløver er der mindre viden om kvaliteten af proteinet, der kan produceres i en bioraffinering ift. brug i fødevarer. Det skal også nævnes, at enhver ny produktion af oprenset protein skal fødevarer godkendes før det kan anvendes i fødevarer og det skal der ligeledes, hvis der anvendes alternative afgrøder.

### Produktionspotentiale i DK

I 2021 var produktionen af råprotein fra bladgrønt opgjort til 629.000 ton (Danmarks statistik 2022c), som bliver brugt som foder til flermavede husdyr. Det er meget svært at anslå produktionspotentialet for fødevarerprotein fra grønne afgrøder. Det er blevet anslået at 200.000 ha landbrugsjord kan omlægges til afgrøder, der kan bruges i bioraffineringsanlæg til produktion af protein til foder, og at denne produktion potentielt vil kunne give en merproduktion på 200.000-400.000 ton foderprotein (Hermansen et al. 2017). Det antages, at en del af disse afgrøder kan bruges til produktion af protein til fødevarer, men det er svært på nuværende tidspunkt at anslå produktionspotentialet. Det er klart at potentialet vil være mindre for fødevarerprotein end foderprotein, da oprensningen af protein til fødevarerprotein vil reducere udbyttet. Hvis det antages at 10 % af proteinet potentielt kunne bruges til fødevarer vil det svare til en årlig produktion på ~20.000-40.000 ton protein. Derudover er der også et potentiale i at bruge sukkerroetoppe fra sukkerroeproduktion til ekstraktion af protein. Da disse bladgrønne planter er traditionelle foderafgrøder, og forædlingen således har været rettet mod foder, må det forventes, at der kan opnås en bedre fødevarerprotein kvalitet, hvis forædlingen rettes mod dette.

### Ekспортpotentiale

Ekспортpotentialet afhænger meget af, hvor meget protein, der kan produceres, men hvis der kan produceres protein af høj fødevarerprotein kvalitet på højde med sojaprotein, kan det formentligt også eksporteres til udlandet.

### Klima- og miljøeffekter

Klima- og miljøeffekterne afhænger af hvilken afgrøde der bliver brugt til produktion af protein, men det er blevet vist, at de flerårige afgrøder har en fordel i forhold til andre proteinafgrøder, da der er mindre udvaskning af næringsstoffer (Manevski et al. 2018). Rød- og hvidkløver samt lucerne er alle flerårige planter, der ikke kræver gødskning pga. selv-nitrofikering, mens græs alene har behov for tilførsel af næringsstoffer, hvilket dog kan overkommes i samdyrkning med kløver. Derudover kan de flerårige afgrøder også have en positiv klimaeffekt i form af større lagring af CO<sub>2</sub> i jorden i forhold til etårige afgrøder (Olesen et al. 2013) For at have en produktion af fødevarerprotein fra grønne afgrøder er det, som nævnt ovenfor, nød-

vendigt at oprense proteinet. I denne proces vil der være en række sidestrømme som fiberholdig presserpulp, grønt protein og restvæske. For at opnå de største klima- og miljøgevinster er en kaskadeudnyttelse, med udnyttelse af alle sidestrømme nødvendigt og bør ses i samproduktion med foder til kvæg. Da disse bladgrønne planter er traditionelle foderafgrøder, og forædlingen således har været rettet mod foder, må det forventes, at der kan opnås en bedre fødevarekvalitet, hvis forædlingen rettes mod dette.

### Barrierer

Der er stadig behov for forskning og udvikling af metoden til oprensning af protein fra de forskellige grønne afgrøder. Det skal undersøges, hvor stort et proteinudbytte, man kan opnå fra forskellige grønne afgrøder og rentabiliteten af hele bioraffineringen skal undersøges. Derudover er det også nødvendigt, at det oprensede protein bliver fødevaregodkendt, før det kan anvendes som en fødevareingrediens. Som i alle planter, er der mange sekundære plantemetabolitter, der kan virke som antinæringsstoffer, f.eks. saponiner og fytoøstrogener. Derfor bør der i enhver proces fokuseres på at undgå koncentrering af disse med proteinet. Ligeledes har redoxzymer vist sig at være en markant faktor for at opnå opløselige proteiner (Amer et al. 2021, Tanambell et al. 2022). Der er et uudnyttet forædlingspotentiale.

## Kilder

- Amer et al. (2021). <https://doi.org/10.1111/ijfs.14632>
- Bresson et al., 2009. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.997>
- Danmarks statistik (2022). <https://www.statistikbanken.dk/RAAV>
- Hermansen et al., 2017. <http://web.agrsci.dk/djifpublikation/djifpdf/DCArapport093.pdf>
- Manevski et al., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.155>
- Martin et al., 2019. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9335>.
- Martin et al., 2014. <https://doi.org/10.1021/jf502905g>
- Møller et al., 2021. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c04289>
- Nissen et al., 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106874>
- Olesen et al., 2013. <https://dcapub.au.dk/djifpdf/dcarapport27.pdf>
- Solati, et al., 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.010>.
- Tanambell et al. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112682>



### 5.4.3 Proteiner fra svampe

Forfatter: Louise Juul Pedersen

#### Rationale/idegrundlag

Svampe kan overordnet inddeles i tre grupper: skimmelsvampe (filamentøse, mikroskopiske), gærsvampe (encellede) og storsvampe (filamentøse, makroskopiske). Dette datablad vil fokusere på storsvampe, også kaldet makroskopiske svampe, af den spiselige type. Proteinindholdet i svampe ligger ofte på 14-39 % af tørstofindholdet (TS), men har været rapporteret helt op til 77 % af TS, hvilket gør svampe interessant som proteinkilde og gør, at svampe klassificeres som en høj protein - lav kalorie råvare. TS udgør ofte mellem 10-35 % i friske svampe (Ferreira et al. 2017, González et al. 2020, Dimopoulou et al. 2022). Svampe er en yndet spise globalt, både pga. næringsindholdet, men især pga. den unikke umamismag (umami forbindes ofte med kødsmag). Dette skyldes et højt indhold af de frie aminosyrer aspartat og glutamat, samt 5'-nukleotider<sup>3</sup> (Sun et al. 2020). Derfor er svampe også interessante som køderstatning, da nogle af de samme smagskomponenter er at finde her, samtidig med at det kan give et alternativ med bl.a. et højere fiberindhold og lavere indhold af kalorier, natrium og mættet fedt (Pintado og Delgado-Pando 2020, Wang og Zhao 2023). Mange spiselige svampe, f.eks. champignon, dyrkes ofte på dødt organisk materiale, mens vilde svampe ofte findes i symbiose med f.eks. træers rødder, dette gælder bl.a. for kantareller (Marshall et al. 2009). Svampe kan gro på mange forskellige næringskilder som f.eks. kaffegrums eller træaffald.

#### Anvendelsesmuligheder

Svampe bruges ofte til direkte konsum og indgår som en velkendt råvare i madlavningen i mange hjem. Proteinfordøjeligheden af svampe er ofte 72-83 %, hvilket kan sammenlignes med proteinfordøjeligheden for f.eks. soja (74 %) og ris (82 %) (Wang og Zhao 2023). Den proteinfordøjelighed-korrigerede aminosyrescore (PDCAAS) for en række forskellige svampe er målt til 0.35-0.70 (for kød- og mælkeprotein er denne score >0.9) ofte med enten cystein, methionin, tryptophan eller lysin som den begrænsende aminosyre (González et al. 2020). Ekstraktion af svampeprotein har vist sig at kunne øge proteinkoncentration samt *in vitro* proteinfordøjelighed sammenlignet med de tørrede og formalede svampe (González et al. 2021). En del svampe er anvendt før 15. maj 1997, mens andre svampe og svampeprodukter er novel food godkendt eller skal novel food godkendes, før de kan markedsføres som fødevarer.

#### Teknologiens modenhed

Både i Danmark og internationalt findes kommerciel produktion af svampe, både til direkte konsum samt til produkter med svampe. Kommerciel dyrkning af svampe foregår ofte i mørke haller i flere lag, hvor bl.a. luftfugtighed, temperatur og hygiejne kontrolleres nøje. Ved effektiv dyrkning kan der opnås et champignonudbytte omkring 250 kg/m<sup>2</sup>/år (AGRO Projects 2022, Geurts-champignons.nl 2022). Et dansk mørkel-

---

<sup>3</sup> 5'-nukleotider: Nukleotider er organiske molekyler, der består af et sukkermolekyle, en nitrogenholdig base samt en fosfatgruppe. Nukleotider er bl.a. byggestenen i DNA og RNA. 5' indikerer at fosfatgruppen er bundet på carbon atom 5 i sukkermolekylet.

projekt (The Danish Morel Project) har udviklet en metode til at dyrke morkler indendørs året rundt, hvilket er banebrydende inden for produktion af morkler, som ellers kun findes sjældent i naturen og i begrænset omfang dyrkes udendørs på verdensplan. Dette gør, at topkvalitets morkler kan sælges for op til 1500 kr./kg, og vil derfor ikke blive anvendt som en direkte proteinkilde, men mere som en delikatesse som trøfler. Med metoden kan der dyrkes 10 kg morkler/m<sup>2</sup>/år (The Danish Morel Project 2022). Et dansk projekt (MycoProtein) arbejder desuden på at producere østershatte til fødevarer ingredienser, hvor næringen til svampene skal komme fra restprodukter fra sukkerindustrien som roepulp og melasse (GUDP 2020). Der findes endnu ikke eksempler på fødevarer med proteinkoncentrater eller -isolater fra svampe, og det ville formentlig kræve en godkendelse som novel food i EU før produktet vil kunne anvendes.

### Produktionspotential i DK

I 2021 blev der i Danmark omsat 1819 ton økologiske champignon i detailhandlen (Danmarks statistik 2022a). Den samlede danske produktion ligger på omkring 2500 ton champignon om året samt ca. 100 ton af andre svampe, bl.a. portobello, enoki og kejserhatte. Størstedelen af den danske svampeproduktion er økologisk, bl.a. fordi den største danske producent producerer 100 % økologisk (Hededam 2020). Antallet af svampeproducenter er faldet drastisk gennem de senere år med nu kun to kommercielle danske producenter. Dette skyldes konkurrence grundet import af billigere svampe fra bl.a. Kina og Polen. I 2018 bestod ca. 30% af det danske svampe-forbrug af dansk-producerede svampe (dr.dk 2006, Fødevarerwatch 2018).

### Eksportpotentiale

Svampe kan både dyrkes og findes vildt, og i 2020 var den globale produktion af storsvampe på 43 millioner ton (FAOSTAT 2022b), hvoraf markedsværdi-andelen af spiselige svampe udgjorde 54 % (i 2013), medicinske svampe udgjorde 38 % og den resterende del blev udgjort af vilde svampe. Den største produktion af svampe er i Kina. De fem mest producerede svampetyper på verdensplan er shiitake, østershat, judasøre, champignon og gul fløjsfod (Royse et al. 2017).

### Klima- og miljøeffekter

Spiselige svampe dyrkes ofte på dødt organisk materiale som substrat/næringskilde, hvilket betyder at de kan leve på kompost og af træ (Marshall et al. 2009). Den største danske svampeproducent bruger økologisk kompost fremstillet på økologisk halm og økologisk heste- og kyllingegødning (møg) til deres champignon, mens bl.a. savsmuld fra danske skove bruges i vækstsubstratet til specialsvampe som kejserhatte og enoki-svampe (tvedemose.dk 2022). Altså kan svampeproduktionen genanvende restprodukter fra skov- og landbrugsproduktionen, og bidrager dermed til et cirkulært jordbrug. Desuden har svampe ikke brug for kemisk gødning eller pesticider, hvorfor svampeproduktion har en lav miljømæssig påvirkning.

## Barrierer

Både globalt og i Danmark findes mangeårig kommerciel svampeproduktion. Udfordringer i svampeproduktionen er sporeudvikling i modne svampe, hvilket kan føre til et sundhedsskadeligt arbejdsklima (irritation af luftvejene/astma) samt "forurene" den genetiske diversitet i naturen, hvis sporene slipper ud. For flere arter, bl.a. champignon, kan sporedannelsen forhindres med rettidig høst (Okuda 2022). En af de områder, hvor der fortsat udvikles er brugen af restproduktet efter dyrkning: "spent mushroom substrate" (SMS), som kan udgøre en af de tungere poster økonomisk og energimæssigt for svampeproducenterne. Ofte varmebehandles SMS, hvorefter det kan bruges som muld/jordforbedring. Der forskes dog i at kunne genbruge SMS som substrat i nye vækstcykler (Cunha Zied et al. 2020), samt som et remedieringsværktøj for miljøkontaminering som bl.a. tungmetaller, pesticider og plastik (Sahithya et al. 2022).

## Kilder

- AGRO Projects, 2022. [https://www.agro-projects.eu/offer/mushroom-industry/modern-mushroom-farms/#pll\\_switcher](https://www.agro-projects.eu/offer/mushroom-industry/modern-mushroom-farms/#pll_switcher).
- Zied et al., 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091239>.
- Danmarks statistik, 2022. <https://www.statistikbanken.dk/OEKO3>
- Dimopoulou et al., 2022. <https://doi.org/10.3390/app12168074>.
- dr.dk., 2006. <https://www.dr.dk/nyheder/penge/snart-slut-med-danske-champignon>.
- FAOstat, 2022. <https://www.fao.org/contact-us/terms/db-terms-of-use/en/>.
- Ferreira et al., 2017. <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch21>
- Fødevarewatch, 2018. <https://fodevarewatch.dk/Fodevarer/article10588520.ece>.
- Geurts-champignons.nl, 2022. <https://geurts-champignons.nl/en/the-cultivation/>.
- González et al., 2020. <https://doi.org/10.1039/D0FO01746A>
- González et al., 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128884>
- GUDP, 2020. <https://gudp.lbst.dk/nyheder/nyhed/nyhed/svampe-skal-lave-vaerdifuldt-protein-til-maden-af-roepulp/>.
- Hededam et al., 2020. <https://samvirke.dk/artikler/kom-med-paa-besoeg-paa-svampefarmen-hvor-det-altid-er-hoejsaeson>.
- Marshall et al., 2009. *Make money by growing mushrooms*. Rome.
- Okuda et al., 2022. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1026508>
- Pintado et al., 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9081044>.
- Royse et al., 2017. <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch2>
- Sahithya et al., 2022. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102323>
- Sun et al., 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.018>
- The Danish Morel Project, 2022. <https://thedanishmorelproject.com/da/svampe-morkler/>.
- Tvedemose.dk, 2022. <https://tvedemose.dk/om-tvedemose/okologi>.
- Wang et al., 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.09.001>

## 5.4.4 Proteiner fra tang

*Forfattere: Louise Juul og Annette Bruhn*

### Rationale/idegrundlag

Det primære idégrundlag for at kigge på tang som en proteinkilde, er det store produktionspotentiale i samspil med potentielle miljøgevinster af dyrkningen. Tang er som biomasse en meget divers gruppe af arter, og kan overordnet inddeles i grøn-, rød- og brunalger. I Danmark findes ca. 400 forskellige tangarter. Andelen af råprotein i tang kan variere fra 3-47 % af tørstofindholdet afhængig af art, miljø- og sæsonbetingelser. Ofte bestemmes proteinindhold i tang på baggrund af totalnitrogen (N), men andelen af N, der findes i biomassen som ikke-protein N er højere end i animalske produkter, hvilket kan lede til overestimering af proteinindholdet ved brug af N-til-protein-konverteringsfaktor på 6.25 (Angell et al. 2016). Generelt findes de laveste proteinforekomster i de brune arter og de højeste i de røde arter, mens der ofte findes moderate proteinforekomster i de grønne arter (Fleurence et al. 2018). De arter, der er mest relevante i forhold til dansk dyrkning og høst er store flerårige brunalger såsom sukkertang, der kan dyrkes i kystnære egne samt åbne havområder, mens den opportunistiske grønalg søsalat, især kan høstes i næringsbelastede fjorde. Høsttidspunkter for tang, der dyrkes eller høstes i naturen, er sæsonbestemte (Bruhn et al. 2020a, Bruhn et al. 2020b, Boderskov et al. 2021). Visse tangarter, bl.a. søsalat, kan dyrkes i akvakultursystemer på land og her udnytte næringsrige sidestrømme fra anden produktion som næringskilde (Neori et al. 2003, Sode et al. 2013). Landbaseret produktion af tang er mere omkostningstung end dyrkning/høst til havs, men resulterer i et produkt med en mere homogen kvalitet (Hafting et al. 2012). Desuden har mange tangarter en god proteinsammensætning, da indholdet af de essentielle aminosyrer giver en aminosyreprofil, der er velegnet til humant konsum (Holdt og Kraan 2011, Fleurence et al. 2018, Bak et al. 2019, Juul et al. 2022).

### Anvendelsesmuligheder

Tangbiomasse kan bruges til direkte konsum, og bruges i høj grad især i asiatiske lande i dagligdags madlavning i f.eks. supper og salater (FAO 2018). Tang er en god kilde til fiber, vitaminer og mineraler, og til dels også protein alt efter art og vækstbetingelser. For mange arter vil proteinbidraget ved direkte konsum dog være begrænset, da man ofte indtager tang i forholdsvis små mængder og at proteinindholdet kan være varierende. På trods af en lav proteinfordøjelighed, kan proteinkvaliteten af flere tangarter konkurrere med almindeligt kendte vegetabiliske råvarer såsom ærter og hvede (De Bhowmick og Hayes 2022, Reynolds et al. 2022). Hvis tang skal udgøre en større del af proteinindtaget hos mennesker, er det dog nødvendigt at bioraffinere biomassen. Dette for at øge både proteinkoncentration og proteinfordøjelighed. Ved at bioraffinere biomassen og ekstrahere/koncentrere proteinet kan proteinfordøjeligheden øges signifikant (Trigo et al. 2021, Juul et al. 2022). Det er desuden vist, at blanchering kan øge *in vitro* proteinfordøjeligheden af søl (rødalge), mens det på vingetang (brunalge) ikke har samme effekt (Mæhre et al. 2016a). Enzymatisk forbehandling af søl kan også øge fordøjeligheden (Mæhre et al. 2016b).

## Teknologiens modenhed

Produktion af tang (biomasseproduktion) ligger på TRL (Technology Readiness Level) niveau 9 for adskillige tangarter, herunder både for sukkertang og søsalat, som dyrkes kommercielt flere steder i verden (Araújo et al. 2021, Chopin og Tacon 2021, FAO 2021). I Danmark er produktionskæde og -systemer dog endnu ikke fuldt ud optimeret og ligger på TRL 5-9 (Petersen et al. 2021a). Produktionspotentialet følger i næste afsnit.

Ekstraktion af protein fra tang er i sin begyndelse, hvorfor teknologien skal modnes yderligere for at opnå både et acceptabelt og rentabelt proteinprodukt. Grundet forskelle i den strukturelle opbygning af forskellige tangarter, skal bioraffineringen optimeres fra art til art. En af de tangarter, der udviser potentiale, er søsalat, grundet dens opportunistiske vækst, bioremedieringspotentiale og proteinindhold. Desuden har søsalat en struktur, der gør, at den kan bioraffineres efter samme principper som f.eks. kløvergræs, hvor en skrueresning af biomassen kan bruges til at ekstrahere de opløselige proteiner som derefter kan koncentrerer f.eks. ved proteinfældning. Der skal på nuværende tidspunkt optimeres yderligere for at opnå et bedre udbytte samt en bedre proteinkvalitet, både i forhold til næringsværdi og funktionelle egenskaber (f.eks. opløselighed), når der bioraffineres i pilotskala (Juul et al. 2022)(ikke-publiceret data). Bioraffinering vha. skrueresning er ikke aktuel for tangarter som sukkertang, hvor strukturen er mere rigid og presseproduktet viskøst. Her vil der med fordel kunne ekstraheres protein vha. fysisk og kemisk behandling, såsom biomasse homogenisering efterfulgt af alkalisk behandling, hvilket også kan bruges på f.eks. søsalat (Harrysson et al. 2018). Brug af enzymer til ekstraktion af protein har især for røde tangarter vist sig gavnlig (Naseri et al. 2020b). God effekt af forbehandling med enzymer er også set for Spinosum (rødalge), og giver mulighed for både at ekstrahere protein og carragenan (hydrokolloid) (Naseri et al. 2020a). En anden metode til at øge proteinkoncentrationen, ud over at ekstrahere, er ved fermentering, hvor det er vist at bestemte kulhydrater i sukkertang fjernes fra biomassen og dermed opkoncentrerer protein fra fingertang (Hou et al. 2015). Med den stigende interesse for tang og øget fokus på bioraffinering heraf, forventes det at teknologien modnes år for år, både angående produktkvalitet og -udbytte.

## Produktionspotentiale i DK

Det anslås, at der i Danmark pt. produceres under 20 ton tang om året, mens produktionspotentialet frem mod 2050 anslås til 100-1.500 ton sukkertang, 1-5 ton søl og 5-10 ton søsalat produceret, og 11.000 ton søsalat høstet fra næringsrige fjorde (Petersen et al. 2021a). Estimaterne er lavet som et skøn, under antagelse af en udvikling, hvor rentabilitet og samproduktion er muliggjort og understøtter den grønne omstilling, EU's vandrammedirektiv, EU's cirkulære bioøkonomi strategi, samt Danmarks mål om klimaneutralitet i 2050 (Petersen et al. 2021a). Der er flere forskellige begrænsende faktorer for tangproduktion i Danmark, bl.a. 1) højt omkostningsniveau i produktionen, der ikke modsvarer af markedspris for f.eks. protein; 2) mangel på kommercielle aktører med adgang til investeringer; 3) tilladelser til dyrkning; 4) sikkerhed for afsæt-

ning videre i værdikæden mangler; 5) udvikling af TRL (Petersen et al. 2021a). Kigger man i forhold til verdensmarkedet, er Danmark og EU i øjeblikket en meget lille aktør i forhold til global tangproduktion, hvor 97 % af produktionen ligger i Asien med Kina og Indonesien som de største producenter. Til gengæld ligger Europa i toppen, når det gælder produktion af fødevarer- og farma-godkendt alginat (hydrokolloid fra brunalger) (Mendes et al. 2022). Produktionen af tang på verdensplan er gennem de sidste 70 år steget markant fra 0,56 millioner ton (vådvægt) i 1950 til 35,8 millioner ton i 2019. Langt størstedelen, ca. 97% af tang på markedet dyrkes, mens den resterende del høstes fra vilde populationer. På verdensmarkedet er de mest producerede arter følgende: Store brunalger (*Laminaria/Saccharina/Undaria*) (42,8 %), rødalger til hydrokolloider (*Kappaphycus/Eucheuma/Gracilaria*) (44,0 %), og Purpurhinde/nori (*Porphyra/Pyropia*) (8,6%) (FAO 2021).

### Eksportpotentiale

Der er stor efterspørgsel på lokalt-produceret tang i EU. Det forventes at efterspørgslen på tang vil stige – både til direkte konsum, og som erstatning af f.eks. planteproteiner, og at markedet for tang til fødevarer vil stige til 700-2100 millioner EUR i 2030, hvoraf den største markedsandel forventes at være på tang til direkte konsum. Det forventes desuden, at 30 % af efterspørgslen på tang i EU vil kunne dækkes af producenter indenfor EU (Vincent et al. 2020).

### Klima- og miljøeffekter

Tangproduktion fungerer som en "emission capture and utilisation" teknologi, hvor næringsstoffer og CO<sub>2</sub> fra spildstrømme optages og indbygges i biomassen, uanset om den vokser til havs, hvor tangen optager og reducerer koncentrationerne af næringsstoffer, der er udvasket fra land, eller på land, hvor tangen kan bruges til at reducere næringsudledninger fra næringsrige spildstrømme og CO<sub>2</sub>.

Tangs bioremedieringseffekt, hvad angår næringsstoffer er veldokumenteret (Bruhn et al. 2020a, Bruhn et al. 2020b, Zhang et al. 2022), mens effekter på klima er omdiskuterede, idet tangen optager CO<sub>2</sub>, men frigiver den igen ved anvendelse af biomassen (Froehlich et al. 2019, Hurd et al. 2022).

### Barrierer

Den største barriere i forhold til at have et protein-fødevarer-produkt fra tang er lige nu modenhed af bioraffineringsteknologien. Der er et forskningsbehov inden for optimering af proteinekstraktionen, både for at øge kvaliteten af proteinproduktet og ikke mindst udbyttet. Der vil højst sandsynligt skulle arbejdes hen imod en bioraffineringskæde med flere produkter, f.eks. ekstraktion af både protein, mineraler og bioaktive polysakkarider, for at opnå en rentabel processering.

Dyrkningsmetoder af tang i danske farvande er under udvikling i forskellige projekter, bl.a. OLAMUR/WIN@sea, SMARTfarm og ValueFarm, samtidig udvikles bioraffineringsprocesser og testes føde-

varekvalitet af tang i projekter som SeaSus-protein, TACO Algae og SusKelpFood. Derudover, blev EU4Algae skudt i gang i februar 2022, et projekt, der har til formål at styrke innovation inden for brug af alger (både mikroalger og tang) i EU (Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries 2022).

## Kilder

- Angell et al., 2016. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0650-1>
- Araújo et al., 2021. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.626389>
- Bak et al., 2019. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101576>
- Boderskov et al., 2021. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102160>
- Bruhn et al., 2020a. <https://dce2.au.dk/pub/SR368.pdf>
- Bruhn et al., 2020b. [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet\\_2020/N2020\\_20.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_20.pdf)
- Chopin et al., 2021. <https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1810626>
- De Bhowmick et al., 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11030289>
- Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries, 2022. [https://oceans-and-fisheries.ec.europa.eu/system/files/2022-11/swd-2022-361\\_en.pdf](https://oceans-and-fisheries.ec.europa.eu/system/files/2022-11/swd-2022-361_en.pdf)
- FAO, 2018. "The global status of seaweed production, trade and utilization."
- FAO, 2021. <https://www.fao.org/3/cb4579en/cb4579en.pdf>
- Fleurence et al., 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00010-3>
- Froehlich et al., 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.07.041>
- Hafting et al., 2012. <https://doi.org/10.1007/s10811-011-9720-1>
- Harrysson et al., 2018. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1481-7>
- Holdt et al., 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>
- Hou et al., 2015. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.091>
- Hurd et al., 2022. <https://doi.org/10.1111/jpy.13249>
- Juul et al., 2022. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102644>
- Mendes et al., 2022. <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/13/1871>
- Mæhre et al., 2016a. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0587-4>
- Mæhre et al., 2016b. <https://doi.org/10.3390/md14110196>
- Naseri et al., 2020a. <https://doi.org/10.3390/foods9081072>
- Naseri et al., 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101849>
- Neori et al., 2003. <https://doi.org/10.1023/B:JAPH.0000004382.89142.2d>
- Petersen et al., 2021. [https://www.aqua.dtu.dk/media/Institutter/Aqua/Publikationer-/Rapporter-352-400/387-2021\\_Vidensyntese-om-blaa-biomasse.ashx](https://www.aqua.dtu.dk/media/Institutter/Aqua/Publikationer-/Rapporter-352-400/387-2021_Vidensyntese-om-blaa-biomasse.ashx)
- Reynolds et al., 2022. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac190>
- Sode et al., 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.062>
- Trigo et al., 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129683>
- Vincent et al., 2020. [https://www.seaweedeurope.com/wp-content/uploads/2020/10/Seaweed\\_for\\_Europe-Hidden\\_Champion\\_of\\_the\\_ocean-Report.pdf](https://www.seaweedeurope.com/wp-content/uploads/2020/10/Seaweed_for_Europe-Hidden_Champion_of_the_ocean-Report.pdf)
- Zhang et al., 2022. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102686>



## 5.4.5 Proteiner fra marine ingredienser - Blåmuslinger som eksempel

*Forfattere: Marianne Hammershøj, Jan Værum Nørgaard og Annette Bruhn*

### Rationale/idegrundlag

En mindre produktionen af animalske fødevarer vil nedbringe CO<sub>2</sub> udledningen, og oftest fokuseres på plantebaserede fødevarer i stedet. Blå biomasse som f.eks. muslinger er også et alternativ til animalsk protein, som samtidig har et lavt CO<sub>2</sub> aftryk. Til sammenligning indeholder oksekød 27 % protein, æg 14 % protein og opdrættede muslinger 16 % protein af den spiselige del, og CO<sub>2</sub> udledningen pr kg spiselig del er hhv. 19-36 kg, 4,5 kg og 0,6 kg (Yaghubi et al. 2021).

Blåmuslinger fanges ved bundskrab, men kan også dyrkes på liner eller net (Smartfarm) i danske fjorde f.eks. Limfjorden (Foreningen Muslingeerhvervet 2022) med høj koncentration af planteplankton samt passende vanddybde, iltkoncentration, og gennemstrømning etc. Muslinger filtrerer vandet for alger, der har akkumuleret N og P, og kan dermed bringe næringsstoffer ud af vandmiljøet ved høst (Petersen et al. 2021b). For at opnå en signifikant miljøeffekt skal muslingerne dyrkes på liner eller net og høstes i så store mængder, at det forventeligt overstiger hjemmemarkedet for humant konsum, hvorfor muslingemel til dyrefoder er aktuelt (van der Heide et al. 2021c). I 2018 lå mængden af blåmuslinger landet af danske fartøjer på ~40.000 ton (Danmarks statistik 2022b). Foreningen Muslingeerhvervet arbejder ikke med muslinger som proteinkilde til fødevarer, men fokuserer på at bruge ferske muslinger eller det intakte kogte kød fra afskallede muslinger til konsum. Den eneste sideproduktion de potentielt peger på der kan være, er en evt. proteinproduktion af frasorterede elementer efter produktion (Nielsen 2022a).

### Teknologiens modenhed

Der er i dag ingen produktion af muslingemel eller muslinge biprodukter som proteiningrediens til fødevarer. Med hensyn til muslingeopdræt af muslinger direkte til konsum er teknologien beskrevet i Petersen et al. (2021a), og TRL-niveau for fødevarer er 7-9. Muslinger som proteiningrediens til fødevarer vurderes at ligge på et meget lavere TRL-niveau.

Produktionsanlæg til muslinger findes på markedet. Muslingerne kan tørres og formales til muslingemel, der har et næringsstofindhold, der har vist sig passende for fodring til svin og fjerkræ (Afrose et al. 2016, van der Heide et al. 2021a). Den største udfordring er afskalning og tørring af de friske muslinger til tørt muslingemel (Petersen et al. 2021a, Nielsen 2022b). Herudover skal der yderligere arbejdes med at processere og forbedre muslinge-melets sensoriske egenskaber (farve og smag) for at egne sig som ingrediens til fødevarer.

### Produktionspotentiale i DK

Produktionen er skalerbar med antallet af produktionsanlæg. Omfanget vil typisk begrænses af hensyn til interessenter med aktiviteter ved eller i de indre farvande.

Estimater fra DTU Aqua lyder på en potentiel produktion på op til 300.000 ton ferske muslinger pr. år (Petersen et al. 2021a). Ved en produktion på 100.000 ton med 25% tørstof og heraf 50% skaller kan produktionen af muslingemel estimeres til 12.500 ton pr. år.

Fra Blå Biomasse og Hedeselskabet (2022) oplyses det, at de ejer og driver et anlæg for opdræt af muslinger der ligger ved Oddesund i Limfjorden med 335 Smartfarm units fordelt på ca. 100 hektar. Her opdrættes i alt 7.000-8.000 ton muslinger om året. Herudover har Wittrup Seafood muslingefangst i Kattegat og Isefjorden med en årlig produktion af muslinger direkte til konsum på 4.000 ton (<https://www.wittrup-seafood.dk/en/about-us/>). Wittrup Seafood er også anpartshaver i selskabet Shellfish Limfjord Aps, hvor informationer om produktionsstørrelsen dog ikke er tilgængelige. Opdræt af muslinger går i dag til konsum, og markedet for opdrættede muslinger til konsum har stabiliseret sig (Petersen, 2022).

### Anvendelsesmuligheder

Muslingemel fra opdrættede muslinger har som nævnt vist sig egnet som fodermiddel. Til humant konsum er der hidtil ikke produceret muslingeprotein som fødevaringrediens. Ud fra analyser af muslingemel af foderkvalitet (produceret på afskallede muslinger) har muslingemelet et proteinindhold på 60-69 % og fedtindhold på 11-16 % af tørstof (Afrose et al. 2016, van der Heide et al. 2021a). Løses udfordringerne med muslingemelets mørke/sorte farve og fiskede smag kan det anvendes som ernæringsmæssig ingrediens med højt proteinindhold og kilde til polyumættede omega-3 fedtsyrer med andel på >50 % (van der Heide et al. 2021a).

Fra produktionen af kogte muslinger i afskalningsprocessen, kan der være et potentiale i at inddampe kogevandet og afsætte som fødevaringrediens med umamismag. Markedspotentialet afhænger af omkostningerne ved at producere muslingemel sammenlignet med andre alternative proteinkilder og af potentialet for produktionen.

### Eksportpotentiale

Der vurderes ikke at være en nuværende efterspørgsel efter muslingemel som fødevaringrediens fra udlandet, men det må antages, at manglen på animalsk protein fremadrettet også kan skabe en efterspørgsel. Til gengæld er der et stort potentiale for eksport af opdrættede muslinger til konsum i Europa, både som levende og frosne muslinger, hvor markedet er stigende og der importeres i stigende mængder fra lande udenfor EU (Kina, Chile og New Zealand) og Frankrig er en af hovedimportørerne (Holmyard 2019). Det globale marked for muslinger til konsum forventes at vokse omkring 2.7-3.4 % årligt frem til 2032 (Persistence Market Research 2022).

## Klima- og miljøeffekter

Dyrkes muslinger på farme med formålet at fjerne N og P fra vandmiljøet, kaldes produktionen kompensationsopdræt. Der er store miljømæssige aspekter i muslingemel fra kompensationsopdrættede muslinger. Estimer fra DTU Aqua viser potentiale for fjernelse af 1.280-1.690 ton N og 70-193 ton P ved en produktion og høst af 100.000 ton friske muslinger (Petersen et al. 2021b, Nielsen 2022b). Andre beregninger viser 1-3 ton N og 60-170 kg P/ha/år ved anvendelse af net og rørsystemer, men dette er meget afhængig af lokaliteten (Bruhn et al. 2020a). Effekten af muslingeproduktion på C optag og herigennem klima er kontroversiel (Tamburini et al. 2022). Undersøgelser af muslinge anlægget ved Oddesund med gode strømforhold og høj næringsstofbelastning viser, at muslingeopdræts-anlæg ved en gunstig geografisk placering kan bidrage positivt til områdets miljø og dyreliv (Vismann 2021).

## Barrierer

Barrierer i den primære produktion af muslinger, er beskrevet i (Petersen et al. 2021a, Petersen et al. 2021b), og omfatter bl.a. accept af denne som N og P-virkemiddel i forbindelse med kompensationsopdræt, prædatorer, som i danske farvande er søstjerner, strandkrabber og edderfugle, social accept og lokale effekter af muslingeopdræt, Søfartsstyrelsen for Havplanen, som sætter grænser for, hvor aktiviteter kan foregå, og endelig at udvikle en kost-effektiv adskillelse af muslingekødet fra skallerne.

Markedspotentialet for muslingemel og andre produkter fra muslinger er usikkert. Markedet for muslinger direkte til humant konsum har vist store udsving, men nu synes at være stabiliseret og er stigende som nævnt tidligere.

En væsentlig barriere for protein fra muslingemel som ingrediens i fødevarer er oparbejdningen af proteindelen (lav TRL) og muslingemelets sensoriske egenskaber, som dels bidrager med meget mørk/sort farve af melet og dels en karakteristisk fiskesmag og -lugt, hvilket begrænser anvendelsen i mange fødevarerprodukter. Der er behov for forskning i af forbedre disse sensoriske barrierer, samt at opnå viden om hvilke egenskaber muslingeprotein har som ingrediens i forhold til at erstatte animalske proteiner fra kød, æg og mælk, hvor især de to sidstnævnte anvendes på grund af deres funktionelle egenskaber som teksturdannere og som bindemiddel.

## Kilder

- Afrose et al., 2016. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.01.008>
- Blå Biomasse og Hedeselskabet, 2022. <https://www.hedeselskabet.dk/sites/hedeselskabet.dk/files/2021-03/Hedeselskabets%20vision%20for%20muslingeopdr%C3%A6t%20i%20Danmark.pdf>
- Bruhn et al. (2020a). <https://dce2.au.dk/pub/SR368.pdf>
- Danmarks statistik (2022). <https://www.statistikbanken.dk/20207>
- Foreningen Muslingeerhvervet, 2022. [https://www.sebrochure.dk/foreningen\\_muslingeerhvervet/WebView/](https://www.sebrochure.dk/foreningen_muslingeerhvervet/WebView/)
- Holmyard, 2019. <https://www.seafoodsource.com/news/supply-trade/europes-mussel-market-growing-increasingly-international>
- Nielsen, 2022a. Personlig meddelelse
- Nielsen, 2022b. Personlig meddelelse
- Persistence Market Research, 2022. <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/mussel-market.asp>.
- Petersen et al., 2021a. [https://www.aqua.dtu.dk/-/media/Institutter/Aqua/Publikationer/Rapporter-352-400/387-2021\\_Vidensyntese-om-blaa-biomasse.ashx](https://www.aqua.dtu.dk/-/media/Institutter/Aqua/Publikationer/Rapporter-352-400/387-2021_Vidensyntese-om-blaa-biomasse.ashx)
- Petersen et al., 2021b. <https://www.aqua.dtu.dk/-/media/Institutter/Aqua/Publikationer/Rapporter-352-400/385-2021-Marine-virkemidler-potentialer-og-barrierer.ashx>
- Tamburini et al., 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157508>
- van der Heide et al., 2021a. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.100119>
- van der Heide et al., 2021b. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/2303>
- Vismann, 2021. <https://www.hedeselskabet.dk/sites/hedeselskabet.dk/files/2021-01/Notat%20fra%20K%C3%B8benhavn%20Universitet%20om%20resultaterne%20fra%20INPROFEED%20milj%C3%B8-arbejdsplan.pdf>
- Yaghubi et al., 2021. <https://doi.org/10.3390/nu13041124>.

## 5.4.6 Proteiner fra rapsfrø

*Forfattere: Sandra B. Gregersen og Simone B. Alpiger*

### Rationale/idegrundlag

Raps har et højt indhold af både olie (<49 %) og protein (< 26 %) (Wanasundara et al. 2016), og er en veletableret og vigtig afgrøde i Danmark med et stabilt udbytte. Det høje proteinindhold, en god aminosyresammensætning, samt potentielle funktionelle egenskaber, gør rapsprotein til en mulig alternativ proteinkilde i fødevarerektoren (Chmielewska et al., 2020).

Rapsfrø anvendes i dag primært til rapsolieproduktion (ved presning eller solventekstraktion), hvorfra pressekagen er biprodukt. Pressekagen indeholder 30-40 % protein, og anvendes i dag primært i fodersektoren (Fetzer et al. 2018), men med udgangspunkt i det høje proteinindhold har der de seneste år været et fokus på at omstille til anvendelse i fødevarer. Der også initiativer, som fokuserer på udvinding af proteiner direkte fra rapsfrø. Simultan udvinding af olie og protein i en samlet proces kan potentielt være en strategi til at opnå en mere bæredygtig produktion.

### Anvendelsesmuligheder

Rapsprotein har en fordelagtig aminosyresammensætning med et højt indhold af svovlholdige aminosyre (Day 2013, Wanasundara et al. 2016), som er en begrænsende faktor i mange andre planteproteiner. Rapsfrøene indeholder forskellige typer af proteiner, som hver især har udvist funktionelle egenskaber, hvilket gør anvendelsesmulighederne mangfoldige. Herunder kan nævnes geleringsevne, samt skum- og emulsionsstabiliserende egenskaber (Yang et al. 2021, Ntone et al. 2022a), som er anvendelige i applikationer såsom drikkevarer, imiterede mejeriprodukter, køderstatninger og bageri (Chmielewska et al. 2021). For rapsprotein udvundet fra rapskager, har metoden til udvinding af olien stor indflydelse på den videre udvinding af proteinet, hvor både udbyttet samt den funktionelle værdi hæmmes ved brug af høje temperaturer samt organiske solventer (Fetzer et al. 2018, Östbring et al. 2020). Derfor, kan ekstraktion af proteiner direkte fra rapsfrøet potentielt give højere udbytte samt bedre næringsmæssig og funktionel værdi.

En af de store barrierer for anvendelse af rapsproteiner i fødevarer, er at rapsfrø indeholder en række uønskede forbindelser (phytat, polyphenoler, tanniner og glucosinolater), som enten er kendte for at være anti-næringsstoffer, eller for deres negative indvirkning på smag, lugt samt nedsætte proteinernes næringsmæssige og funktionelle værdi (Wanasundara et al. 2016, Miklavčič Višnjevec et al. 2021, Ntone et al. 2022b). Uønskede forbindelser (se ovenfor) findes også i pressekagen efter udvinding af olien. Raffinering er derfor som udgangspunkt en nødvendighed for at opnå proteinrige fødevaringredienser fra raps.

## Teknologiens modenhed

Der er i dag ingen danske producenter af rapsprotein til fødevarer, men internationalt er der nyligt etablerede kommercielle producenter af fødevaringredienser fra rapskager. Der forelægger EFSA godkendelser hertil. Eksempelvis har Apetit Kasviöljy i Finland en godkendt produktion af en fødevaringrediens baseret på tørret rapskage og Olatein, der er et samarbejde mellem hollandske DSM og franske Avril group, producerer rapsproteinisolat. På trods af dette, går hovedparten af rapskager stadig til fodersektoren, og der er stadig teknologiske barrierer for et skift mod bredere udnyttelse i fødevarer. Ud over at sikre nedsat indhold af uønskede stoffer, er det også en udfordring at opnå gode funktionelle egenskaber. Her er det ikke kun oprensningsprocessen, der er af betydning, men også rapskagens proceshistorie. Under oliepresningen introduceres ændringer i proteinernes struktur, som kan nedsætte deres opløselighed, en vigtig faktor for mange fødevarerapplikationer. Derfor anses koldpressede pressekager for det bedste udgangspunkt for proteinudvinding sammenholdt med andre typer pressekager (Fetzer et al. 2018, Östbring et al. 2020). En tredje udfordring er, at ekstraktionen af proteiner er en ressourcekrævende proces, og at høj proteinrenhed generelt kræver store mængder vand og kemikalier. Her ses der forskningsmæssigt på flere alternative, mildere processer som eksempelvis tørfraktionering (Hansen et al. 2017).

Der er de seneste år givet forskningsstøtte til en række danske projekter, der undersøger, hvordan proteiner fra rapskager kan udnyttes. Herunder projekter, der fokuserer på reduktion af uønskede forbindelser, proteinkvalitet og mildere oprensning, eksempelvis SEEDFOOD støttet af Novo Nordisk og projektet "Fra rapskage til proteinrig fødevaringrediens" igangsat af Food & Bio Cluster Denmark. Andre projekter undersøger bedre udnyttelsen af de forskellige komponenter i pressekagen herunder også fibre, med udgangspunkt i en cirkulær tankegang. Her kan bl.a. nævnes "Understanding processing-structure-function-relationships of sustainable multi-component fractions from oilseed press cakes" støttet af Novo Nordisk fonden.

Det generelle øgede fokus på en cirkulær tilgang til fødevarerproduktion har også bidraget til projekter, der arbejder på at nytænke måden, hvorpå olie og proteiner ekstraheres fra frø. Her er målet at se på processen som en helhed, i stedet for to separate produktioner. Der er i dag ingen kommercielle produkter ekstraheret direkte fra rapsfrøet, men en hollandsk startupvirksomhed, Time Travelling Milkman, har demonstreret potentialet for kommercielt at udvinde funktionelle proteiningredienser fra solsikkefrø baseret på dette princip. Forskere ved Aarhus Universitet arbejder ligeledes med denne strategi og har udviklet en metode for skånsom ekstraktion af protein og olie simultant fra rapsfrø (patentanmeldt).

På nuværende tidspunkt er det primære fokus på teknologiske løsninger, som kan mindske indholdet af uønskede kemiske forbindelser. Det gælder både for ekstraktion med udgangspunkt i pressekagen og for ekstraktion fra rapsfrø. En alternativ strategi er forædling. Det er med denne strategi, at de rapssorter, der dyrkes i dag, er opnået. Disse er skabt igennem forædling mod lavt indhold af glukosinolater og erucinsyre (betegnet dobbeltlav). Den danske virksomhed KNOLD&TOP arbejder i dag med denne strategi, specifikt i forhold til reduktion af tanninindholdet, der bidrager til bittert afsmag.

## Produktionspotential i DK

Der er en veletableret produktion af raps i Danmark i dag, med et dyrkningsareal i 2022 på knap 200.000 ha. og et udbytte på ca. 890.000 tons rapsfrø årlig (Danmarks statistik 2022e). Hvis det antages at rapsfrøene gennemsnitligt indeholder 20% protein vil det svare til et årligt rapsproteinudbytte på 178.000 tons. Der er en lang række mindre lokale rapsolieproducenter og adskillige storproducenter (Danish Agro, DLG og Emmelev A/S). Dog er det kun DLG, der fremstiller madolie fra rapsen (220.000 tons årligt), mens de resterende producerer til biobrændsel. Rådet for grøn omstilling henstiller derfor til at rapsproduktionen i DK begrænses til den andel der går til fødevarer- og fodersektoren, hvilket i dag estimeres til en proteinmængde på 44.000 tons under antagelse af, at alt protein bliver ekstraheret. Ved mildere ekstraktionsmetoder, der kan resultere i protein af højere kvalitet vil man typisk opnå et proteinudbytte på omkring 35% af råproteinet (Ntone et al. 2020, Alpiger og Corredig 2022). Der er derfor et stort råvaregrundlag for en udnyttelse af rapsproteiner.

Ligeledes, er der en stor videnskabelig ekspertise til at understøtte etablering af processer til udvinding af rapsprotein til fødevarer enten fra rapskage eller ved direkte udnyttelse af frøet (i henhold til overstående projekter). Den viden kombineret med den mangeårige erfaring med dyrkning af raps, bidrager til et stort potentiale for rapsproteinproduktionen i Danmark, både for mindre nye aktører og for eksisterende producenter af rapsolie.

## Eksportpotentiale

Der vurderes at være et eksportpotentiale, såfremt proteinkvaliteten er høj nok. En stor del af den danskproducerede rapsolie eksporteres i dag af virksomheder, så som Danish Agro, DLG og Emmelev A/S. Det er aktører, der har kapacitet til at etablere udvinding af rapsprotein, målrettet det stigende europæiske og globale marked for alternative proteiner, inden for en begrænset tidsramme.

## Klima- og miljøeffekter

Proteinudbyttet per hektar er generelt lavere for oliefrø end for eksempelvis bælgfrugter (0.75 vs 1-2 tons/ha/år) (Mulder et al. 2016). Det er her vigtigt, at proteinudbyttet ses i en sammenhæng med produktionen af olie, enten ved udnyttelse af protein fra rapskagen eller ved potentiel omlægning simultan ekstraktion af protein og olie. Udnyttelsen af rapsprotein i forbindelse med rapsolieproduktion, vil flytte anvendelsen af et restprodukt fra fodersektoren til fødevarersektoren. Det vil umiddelbart give en bæredygtig gevinst, som dog skal sammenholdes med valg af proces til proteinekstraktion. Raps er en étårig afgrøde, der dyrkes i sædskifte (4-8 år imellem) og den samlede klima- og miljøeffekt skal ses i sammenhæng hermed. Dette kræver en overordnet livscyklusvurdering, hvilket i dag ikke forelægges.

## Barrierer

Et højt indhold af uønskede kemiske forbindelser, med potentiel negativ indvirkning på næringsværdi og smag, kombineret med tekniske udfordringer med at etablere en kommerciel rentabel proteinekstraktion, samt begrænset proteinfunktionalitet har længe været begrænsende faktorer. En af barriererne er manglende viden og erfaringsgrundlag for mildere og mere bæredygtige ekstraktionsprocesser og opskalering heraf. Der er ligeledes brug for en bedre forståelse af den rette balance mellem oprensning og funktionalitet. I nogle fødevarerapplikationer kan mindre raffinerede proteiningredienser anvendes, mens der for andre kræves en mere intens forarbejdning, for at opnå de rette egenskaber. Generelt er der et behov for en cirkulær anskuelse af udvindingsprocessen, hvor alle indholdsstoffer i rapsfrøet udvindes med højst mulige potentiale.

En generel barriere for anvendelse af planteproteiner, hvilket også gælder for raps, er mangel på ensartethed mellem producenter (også inden for sammen producent). Viden omkring, hvordan dette kan takles eller alternativt, hvordan funktionelle egenskaber kan forudses, er nødvendigt for øget anvendelse i fødevarersektorer.

## Kilder

- Alpiger et al. (2022). 10.22541/au.166786941.10286887/v1
- Chmielewska et al. (2021). 10.1080/10408398.2020.1809342
- Danmarks statistik (2022). <https://www.statistikbanken.dk/hst77>
- Day (2013). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.005>
- Fetzer et al. (2018). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.011>
- Hansen et al. (2017). <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.05.007>
- Miklavčič Višnjevec et al. (2021). <https://doi.org/10.3390/plants10112548>
- Mulder et al. (2016). <https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/proteins-for-food-feed-and-biobased-applications/>
- Ntone, E. et al. (2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105598>
- Ntone et al. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107400>
- Ntone et al. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107423>
- Wanasundara et al. (2016). <https://doi.org/10.1051/ocl/2016028>
- Yang et al. (2021). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106270>
- Östbring et al. (2020). <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/1/19>



## 5.4.7 Kartoffelprotein

*Forfatter: Marianne Hammershøj*

### Rationale/idegrundlag

De danske kartoffelmelsfabrikker modtager årligt mere end 2 mio. ton kartofler, som primært bruges til produktion af stivelsesprodukter. Produktionen af kartoffelstivelse fører hvert år til, at producenterne står med 20.000 ton kartoffelprotein som restprodukt, dvs. 1 % af kartoffelmassen (Christensen 2022), der ikke umiddelbart kan bruges direkte i fødevarer. Det skyldes indholdet af glycoalkaloiderne,  $\alpha$ -solanin og  $\alpha$ -chaconin, som er giftige, og uønsket enzymaktivitet af polyphenoloxidase, som forårsager brunfarvning af proteinproduktet (Schmidt 2016). Disse forhold gør, at restproduktet i mange år kun blev anvendt til dyrefoder, da grænseværdierne for glycoalkaloiderne her er højere end i fødevarer. I 2022 er grænseværdien sænket til 100  $\mu\text{g/g}$  (summen af  $\alpha$ -solanin og  $\alpha$ -chaconin) i kartofler og kartoffelprodukter (Europa-kommissionen 2022), hvor grænsen tidligere var  $< 150 \mu\text{g/g}$  proteinprodukt. I 2018 lancerede KMC et fødevegodkendt kartoffelprotein og opgraderingen heraf foregår i et bioraffineringsanlæg på KMC's stivelsesfabrikker (Christensen 2022).

### Anvendelsesmuligheder

Kartoffelprotein kan finde anvendelse på to områder i fødevarer; som funktionel ingrediens eller i proteinberigede fødevarer. Kartoffelproteinets funktionelle egenskaber dækker over både skum, emulsion- og gel-dannende egenskaber f.eks. som bindemiddel, fortykningsmiddel og teksturdanner i forskellige produkter (Schmidt et al. 2018). Kartoffelprotein kan grundet en ernæringsmæssig meget fordelagtig aminosyreprofil, med en DIAAS score på 115 og en PDCAAS score på 0,93 (kmc.dk), bruges til proteinberigelse af diverse fødevarer, f.eks. rettet mod sportsernæring eller special-/ældreernæring.

### Teknologiens modenhed

Teknologien til at fremstille kartoffelprotein af fødevegkvalitet har siden 2019 været i produktion. I første omgang fremstilledes et proteinpulver, som ikke besad specifikke funktionelle egenskaber. Selve forarbejdningsteknologiens detaljer er ikke offentlig kendte. I 2022 er det lykkedes at fremstille et tekstureret køderstatningsprodukt af kartoffelprotein i Danmark (kmc.dk).

### Produktionspotentiale i DK

I 2021 blev der dyrket stivelseskartofler på et areal på 35.157 ha i DK, hvilket er en stigning fra 23.659 ha (+49 %) siden 2015, og svarer til 63 % af det samlede areal til kartoffeldyrkning (Landbrugsstyrelsen 2021). Dette resulterer i en produktion i dag på mere end 2 million ton kartofler til stivelse, hvilket giver 20.000 ton kartoffelprotein årligt i Danmark. KMC er den eneste producent af kartoffelprotein af fødevegkvalitet i Danmark. Herudover producerer AKV kartoffelprotein til foder og pet-food. KMC forventer at producere 300 ton tekstureret protein i 2022 og at øge produktionen signifikant de efterfølgende år (kmc.dk). Med større værditilvækst fra kartoflerne kan der forventes et øget afkast pr. dyrket areal til landmændene og dermed en øget interesse for at dyrke kartofler.

### Ekспортpotentiale

Det vurderes, at der er et stort potentiale for eksport af kartoffelprotein som fødevarer ingrediens. Der er for nuværende flere kartoffelproteinprodukter på det internationale marked. Den stigende efterspørgsel efter vegetabiliske proteiner til fødevarer, herunder som alternativ til animalske proteinholdige fødevarer, betyder at kartoffelprotein som ingrediens er attraktivt. Markedsanalyser forudsiger, at kartoffelproteinmarkedet i Europa forventes at stige med 7 % fra 2022-2027 (Mordor Intelligence 2022), og tilsvarende i Asien med 6,8 % (Research and Markets, 2022).

### Klima- og miljøeffekter

Kartofler har et af de laveste CO<sub>2</sub>-aftryk i planteverdenen (0,2 kg CO<sub>2</sub>/kg fødevarer), hvilket udover kartoffelens natur kan dyrkes med et højt udbytte (kg/ha) og høstes effektivt (danskekartofler.dk). Kartoffelprotein i Danmark produceres fra lokalt dyrkede kartofler, hvilket også betyder lavt CO<sub>2</sub> udledning fra transporten. Da kartoffelprotein som fødevarer ingrediens er en opkvalificering af et eksisterende restprodukt fra kartoffelstivelsesproduktionen, vil dette ikke påvirke det dyrkede landbrugsareal. Oparbejdningen af kartoffelprotein er for nuværende ikke en proces, der beror på stor brug af kemikalier, og der arbejdes på at mindske og genbruge procesvandet, hvilket ses som positivt for vandforbruget.

### Barrierer

Barriererne for kartoffelprotein som fødevarer ingrediens har tidligere været en lav opløselighed og en opkoncentrering af glycoalkaloiderne ved raffinering. Endvidere var den enzymatiske brunfarvning et problem, som begrænsede anvendelsesmulighederne i fødevarer. Eftersom det er lykkedes at sænke glycoalkaloid-niveauet, kan proteinet nu anvendes til proteinberigelse med ernæringsmæssigt sigte, men dette kræver, at den sensoriske kvalitet er tilfredsstillende, dvs. smag og udseende. Hvis efterspørgslen på kartoffelprotein som en funktionel ingrediens af høj kvalitet bliver stor fremover, og i og med proteinet er en lille del (~1%) af kartoffelstivelsesproduktionen, kan dyrkningskapaciteten af kartofler og processeringskapaciteten af stivelse blive en begrænsende barriere for den mængde kartoffelprotein, der kan produceres.

## Kilder

- Christensen (2022). Personlig kommunikation
- danskekartofler.dk. <http://danskekartofler.dk/DK/Forbruger/KlimaKartoflen.aspx>.
- Europa-kommissionen (2022). <https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Kemi%20og%20foedevarekvalitet/Kemiske%20forureninger/Henstilling%20-%20Glycoal-kaloider.pdf>
- kmc.dk. <https://www.kmc.dk/news-and-knowledge/danish-potato-protein-to-improve-plant-based-meat-solutions>.
- Landbrugsstyrelsen. (2021). <https://lbst.dk/nyheder/nyhed/nyhed/vi-dyrker-flere-kartofler-men-faerre-af-dem-havner-paa-middagsbordet/>.
- Mordor Intelligence (2022). <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/potato-protein-market>
- Schmidt, J. M. (2016). [https://pure.au.dk/portal/en/publications/purification-and-functional-properties-of-potato-protein-fractions\(34080704-92dd-42f6-99f6-44f5ddde192e\).html](https://pure.au.dk/portal/en/publications/purification-and-functional-properties-of-potato-protein-fractions(34080704-92dd-42f6-99f6-44f5ddde192e).html)
- Schmidt, J. M. et al. (2018). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.07.032>

## 5.4.8 Mæsk/mask

*Forfattere: Trine Kastrup Dalsgaard og Anders Hauer Møller*

### Rationale/idegrundlag

Mask (mæsk) er et biprodukt, der fremkommer under produktionen af øl. Det er den uopløselige del af malten der bliver sorteret fra inden væsken med de opløselige dele bliver brugt til videre produktion af øl. I 2020 var den globale ølproduktion på 177,6 milliarder ton øl (FAOSTAT 2022c), og masksidestrømmen udgør 40 mio. ton om året (del Mar Contreras et al. 2021). Tidligere er mask hovedsageligt blevet anvendt til foder (Waters et al. 2012), men i dag bliver det anvendt i brødproduktion. Mask indeholder et højt proteinniveau, og kan derfor anses som et supplement proteinindtag fra vegetabilsk kilde.

### Anvendelsesmuligheder

Mask, også kendt på engelsk som "spent grain", indeholder omkring 22 % protein (Waters et al., 2021), hvilket er på højde med mange proteinafgrøder (bælgplanter) og har et højt indhold af essentielle aminosyrer (Waters et al. 2012), 28.22 % total fiber og 3.6 % essentielle fedtsyrer. Grundet et højt indhold af fiber, kan mask anvendes som kosttilskud, da det skulle have en gavnlig effekt på livsstilssygdomme som diabetes grundet det høje protein- og fiberindhold og en kompleks sammensætning af polysakkarider (McCarthy et al. 2013, Mussatto 2014). I brødproduktionen er det vist, at mask både kan give sprødhed og smag (Ktenioudaki et al. 2013). Mask bliver allerede i dag anvendt i brødbagningen, og har fundet anvendelse i danske hospitalskøkkener, hvor dele af hvedemelet kan erstattes af mask, da det har et proteinindhold, der er næsten dobbelt så højt som i almindeligt hvedemel, og derfor kan ses som et favorabel bæredygtigt alternativt til traditionelt hvedemel (rm.dk 2020). Der findes nogle danske projekter der undersøger brugen af maskmel i fødevarer.

### Teknologiens modenhed

Mask indeholder 80 % vand og har derfor en kort holdbarhed på 8-10 dage. Fødevareadditiver kan forlænge holdbarheden. Dog anvendes tørring i dag som den mest effektive måde at forlænge holdbarheden (Pabbathi et al. 2022). Masken bliver også brugt i tørret form, når det i dag anvendes i hospitalskøkkener i Danmark.

Der er lavet forskellige forsøg med ekstraktion af protein fra mask som f.eks. alkalisk og enzymatisk ekstraktion men også ultralydsbehandling, membranfiltrering og pulserende elektrisk felt (del Mar Contreras et al. 2021, Jaeger et al. 2021). De ekstraherede proteiner fra mask kan potentielt bruges som ingrediens i fødevarer, men der er brug for mere forskning med at undersøge de funktionelle egenskaber af proteinet. Det er dog som med andre planteproteinsidestrømme enten en basisk ekstraktion med mulig kemiske ændringer på proteinet til følge eller enzymatisk ekstraktion, der kan være omkostningstungt.

## Produktionspotential i DK

I Danmark resulterer ølproduktionen i 117.000 ton mask, som hovedsageligt bliver brugt til dyrefoder, og der er derfor et stort potentiale, hvis masken kan anvendes til fødevarer og højværdiprodukter. Potentialet er dog ikke belyst i yderligere grad.

## Eksportpotentiale

Maskproduktionen som sidestrøm udgør globalt 40 mio. ton årligt., hvor meget der anvendes til fødevarer er uklart, men det meste bliver formodentligt anvendt til foder. I hvor høj grad proteinet fra mask kan eksporteres, afhænger af dets kvalitet, hvilket der stadig ikke er klarlagt.

## Klima- og miljøeffekter

De to veje, der er at gå, er at anvende masken direkte f.eks. i brødbagning eller som proteinekstrakt eller -isolat. Udnyttelsen af maskprotein fra ølproduktion vil således flytte anvendelsen af restproduktet fra fodersektoren til fødevarersektoren. Det vil umiddelbart give en bæredygtig gevinst, som dog skal sammenholdes med enten tørringsprocessen eller valg af proces til proteinekstraktion. I dag foreligger der ingen livscyklusvurdering af anvendelse af mask til fødevarer, da teknologien til ekstraktionen er under udvikling. Der kunne laves en livscyklusvurdering på mask i brødbagningen, men den skal tillige indeholde dyrkningsforudsætninger af hvede og byg, der begge er étårige afgrøder, der kræver gødskning, og dyrkes i sædskifte. Den samlede klima- og miljøeffekt skal ses i sammenhæng hermed.

## Barrierer

Mask bruges allerede i dag i fødevarer, og her er der formentligt potentiale for at udvide brugen i forskellige fødevarer. Den største udfordring for at anvende mask direkte i brødproduktionen er smagen og mangel på glutenprotein som strukturdanner. Smagsproblemer med masken kan dog minimeres ved en ekstraktion af proteinet, men det kræver yderligere undersøgelser på kvaliteten af det protein der kan ekstraheres fra masken og samtidig skal det undersøges om det er rentabelt at oprense proteinet.

## Kilder

- *rm.dk (2020)* <https://www.rm.dk/om-os/aktuelt/nyheder/nyheder-2020/november-20/bryggeriernes-restprodukt-bliver-til-brod-i-patientkokkenets-bageri/>
- *del Mar Contreras et al., 2021.* <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821879-2.00011-9>
- *FAOSTAT (2022).* <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBSH>
- *Jaeger et al., 2021.* <https://doi.org/10.3390/foods10061389>
- *Ktenioudaki et al., 2013.* <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.01.009>
- *McCarthy et al., 2013.* <https://doi.org/10.1017/S0029665112002820>
- *Mussatto 2014.* <https://doi.org/10.1002/jsfa.6486>
- *Pabbathi et al., 2022.* <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123435>
- *Waters et al., 2012.* <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1805-9>

## 5.4.9 Protein fra sidestrømme fra slagterier

*Forfattere: Margrethe Therkildsen og Jette F. Young*

### Rationale/idegrundlag

En række sidestrømme fra slagteriindustrien udnyttes allerede til foder, energi, gødning og fødevarer, men ud fra et bioøkonomisk synspunkt ligger der en stor værdi i at opkvalificere disse ressourcer til humant konsum og/eller pharma-industrien. Det kan f.eks. være udnyttelse af blod og kollagen, som ingredienser eller som bioaktiv komponent (Soladoye et al. 2022). Kollagen er et fibrøst, strukturelt protein, der udgør op til 30 % af animalsk protein. Det indgår som strukturelt protein i muskler, men findes også i huder, ben, sener, bruske og store blodkar mv. Blod indeholder 18 % protein og udgør ca. 7-8 % af levende vægt af et slagtedyr.

### Anvendelsesmuligheder

Ud over en direkte anvendelse af proteiner fra blod og kollagen, som kan virke som emulgatorer og geldannere i fødevarer, er der et stort potentiale i at udnytte proteiner fra blod som ernæringstilskud i fødevarer (Tørngren 2021), samt i udnyttelsen af specifikke proteiner og peptider fra en række sidestrømme som smags- og bioaktive komponenter i fødevarer.

Blod består af en farvet cellulær del (30-40 %) og en plasmadel (60-70 %). Plasma indeholder 6-8 % protein, som består hovedsagligt af albumin, globulin og fibrinogen. Gennem enzymatisk hydrolyse kan der ekstraheres proteiner og peptider fra plasma, der har høj værdi som ingredienser med funktionalitet og smag. Alt afhængig af hvilke enzymer der kombineres kan hydrolyse af blod resultere i dannelsen af peptider med blod smag, bitter smag eller neutral smag (Tørngren, 2021), men også peptider med umami smag (Fu et al. 2018), som kan have potentiale i fremtidens fødevarer, f.eks. blandingsprodukter.

Den cellulære fraktion indeholder hæmoglobin. Denne fraktion har potentiale som antimikrobiel komponent efter hydrolyse med enzymer, således at den kan erstatte syntetiske tilsætningsstoffer i f.eks. kødprodukter (Przybylski et al. 2020, Sanchez-Reinoso et al. 2021). Der er eksempler på specifikke peptider, der hæmmer fedtoxidation og mikrobiel vækst i hakkekødsemulsioner (Przybylski et al. 2016). Tilsvarende kan kollagen hydrolyseres og frigive bioaktive peptider med antioxidativ, antimikrobiel (Vidal et al. 2022) og blodtryksænkende aktivitet (Fu et al. 2015, Fu et al. 2016).

### Teknologiens modenhed

Udnyttelsen af slagterisidestrømme til høj-værdi produkter har stort internationalt fokus indenfor forskning og udvikling, men produktionspotentialer er ikke udnyttet (Soladoye et al. 2022). Der eksisterer viden på forskningsniveau om hvilke processer, der kan anvendes til produktion af hydrolysater og videre oprensning af specifikke bioaktive peptider (manipulation med pH, temperatur og specifikke enzymer under hydrolysen). Der er identificeret en række bioaktive peptider fra f.eks. blod og kollagen (Fu et al. 2018, Sanchez-Reinoso et al. 2021), men der er et potentiale i yderligere screening af disse produkter og anvendelsesmuligheder.

## Produktionspotential i DK

Der eksisterer allerede en stor produktion af specifikke enzymer ved præcisionsfermentering i Danmark. Denne viden og produktionsform vil kunne udnyttes til at fremstille enzymer til specifik hydrolyse af sidestrømme. Et godt eksempel på et farmaceutisk produkt i Danmark, er udnyttelsen af mucosa fra tarm til et blodfortyndende præparat. Tilsvarende vil der kunne findes bioaktive peptider med både funktionalitet og sundhedseffekt fra andre sidestrømme. Endelig er der et stort potentiale i yderligere udnyttelse af proteiner fra blod fra kvæg og svineslagterier. I dag har kun et svineslagteri godkendt udstyr til opsamling af blod til human anvendelse (30 % af alle svineslagtninger) og af denne del udnyttes kun ca. 28 % til humant konsum, som sælges som plasma både i Danmark og internationalt. Intet blod fra kvægslagterier opsamles til humant konsum. Der er således en stor mængde blod som ikke udnyttes og tilsvarende en hæmoglobin fraktion fra separationen af plasma som vil kunne udnyttes som protein ressource. Der pågår i øjeblikket udvikling på dette område sammen med udnyttelse af proteiner fra ikke allerede udnyttede organer.

## Eksportpotentiale

Eftersom potentialet i sidestrømme kun i mindre grad er udnyttet globalt, eksisterer der et potentiale i udvikling af metoder samt eksport af eventuelle produkter af høj værdi.

## Klima- og miljøeffekter

Hvis de producerede produkter kan erstatte syntetisk fremstillede produkter, vil der være en direkte miljø- og klimagevinst, afhængig af oprensningsteknikker.

## Barrierer

Det vurderes at teknologierne eksisterer til at lave en langt større udnyttelse af sidestrømme fra slagterierne, men der mangler forskning i potentialet i de forskellige produkter, og der er brug for en screening af hvilke næringsstoffer og bioaktive peptider, der kan oprenses og udnyttes. Desuden kræver øget udnyttelse af sidestrømmene til fødevarer også forbrugeraccept, så udvikling vil skulle foregå sideløbende med forbrugerinformation og inddragelse.

## Kilder

- Fu et al. (2018). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.159>
- Fu et al. (2015). <https://doi.org/10.1111/ijfs.12771>
- Fu et al. (2016). <https://doi.org/10.1016/j.ijff.2016.03.026>
- Przybylski et al. (2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125448>
- Przybylski et al. (2016). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.074>
- Sanchez-Reinoso et al. (2021). <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00141>
- Soladoye et al. (2022). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12879>
- Tørngren, M. A. (2021). <https://www.teknologisk.dk/projekter/alternativ-anvendelse-af-blod/41986>
- Vidal et al. (2022). <https://doi.org/10.3390/antiox11061173>

## 5.4.10 Proteiner fra mikroalger

*Forfattere: Anders Hauer Møller og Trine Kastrup Dalsgaard*

### Rationale/idegrundlag

Mikroalger har generelt et højt indhold af protein (40-70 %) og en god aminosyresammensætning (Becker 2007). Endvidere indeholder mikroalger vitaminer, mineraler, antioxidanter og umættede fedtsyrer, der kan have sundhedsfremmende effekter (Caporgno og Mathys 2018, Mendes et al. 2022). Mikroalger dækker over en lang række forskellige varianter af encellede organismer, som dog kan leve i kolonier. Det antages at der findes mellem 200.000 og 800.000 forskellige mikroalger i naturen. Til fødevarer er det dog hovedsagligt to typer af mikroalger, der er blevet anvendt, nemlig *Chlorella* og *Spiroulina* (også kendt som *Spirulina*) (Caporgno og Mathys 2018), som begge har været indtaget som fødevarer inden 1997 og dermed ikke novel food, som skal godkendes før brug. Flere andre produkter af mikroalger er siden blevet godkendt eller er under godkendelse. Mikroalger kan enten kultiveres i fotobioreaktorer, fermenterings-reaktorer eller i åbne anlæg. I fotobioreaktorer og åbne anlæg udnyttes mikroalgernes evne til at lave fotosyntese med enten naturligt lys eller kunstigt lys, og mikroalgerne vokser under forbrug af CO<sub>2</sub> – også kaldet autotrof kultivering. I fermenteringsreaktorer vokser mikroalgerne ved at omsætte en karbonkilde (f.eks. sukker) og under dannelse af CO<sub>2</sub> – også kaldet heterotrof kultivering. Mikroalgerne kan kultiveres i stort set lukkede systemer under kontrollerede forhold, hvor tilsætning af næringsstoffer kan optimeres i forhold til væksten af mikroalgerne.

Det er muligt at anvende kvælstofholdige sidestrømme fra andre produktionsanlæg såsom ammoniakholdig staldventilation (Teknologisk.dk) eller digestat fra biogasproduktion (Weide et al. 2014), men mikroalgeprotein produceret på disse substrater er formentligt kun brugbare til foder. Det er også blevet foreslået at CO<sub>2</sub> fra industrien kan bruges til autotrof produktion af mikroalger.

Produktion i lukkede systemer giver fordele i form af lavt arealforbrug, lav eller ingen udvaskning af næringsstoffer og høj produktivitet.

### Anvendelsesmuligheder

Mikroalger har et højt indhold af protein, umættede fedtsyrer, vitaminer og antioxidanter og bliver derfor anvendt som supplement til den almindelige kost. Mikroalgerne kan bruges direkte i fødevarer. Dette er forsøgt i brød, pasta, kager og andre fødevarerprodukter (Caporgno og Mathys 2018), men hovedsageligt som prototyper produceret i forskningsprojekter. Her kan algerne tilsættes med forskellige formål f.eks. pga. deres indhold af fedtsyrer, vitaminer og antioxidanter, men kan også tilsættes for at øge indholdet af protein. Der er noget uenighed i litteraturen omkring aminosyre-sammensætning af mikroalger, f.eks. viser Safi et al. (2013), at de svovlholdige aminosyrer methionin og cystein er begrænsende i forhold for *Chlorella Vulgaris*, mens Ursu et al. (2014) og Becker (2007) angiver det modsatte. Fordøjeligheden af protein fra ikke-processerede mikroalger er lavere end for processerede mikroalger pga. mikroalgernes cellevæg (Wang et al. 2020). Desuden har mikroalger fremstillet i fotoreaktorer et højt indhold af klorofyl, som vil gøre



dem grønne. Dette kan begrænse anvendelsesmulighederne af proteinet som fødevarer ingrediens, hvis man ikke processerer dem for at fjerne den grønne farve.

Der er forskellige muligheder for processering, og her er der stadig brug for optimering. Den nødvendige processering er med til at øge produktionsomkostningerne af protein fra mikroalger. Der findes typer af mikroalger med mindre cellevæg, hvilket letter ekstraktionen af protein og man kan få mindre grønne alger ved heterotrof kultivering.

#### Teknologiens modenhed

Ifølge en kortlægning af algeproducenter var der i 2021 to producenter af mikroalger i DK, mens der i alt var 296 producenter af mikroalger, hvoraf 222 producenter var Spirulina mikroalger i hele EU (Araújo et al. 2021). Det skal nævnes at produktionen i dag hovedsageligt er rettet mod produktion af mikroalger, der kan bruges i produktion af høj-værdiprodukter såsom f.eks. farvestoffer eller højværdifoder til akvakulturstyrindustrien (Araújo et al. 2021). Produktion af mikroalger med henblik på protein til fødevarer er i dag meget lille.

Der ligger meget viden på kultivering af mikroalger til produktion af farvestoffer og til brug i enten foder eller som substrat til biodieselproduktion. Til gengæld er der mindre viden om mikroalgeprotein til fødevarer og endnu mindre viden om de funktionelle egenskaber for oprenset mikroalgeprotein.

Til at opnå protein med gode egenskaber skal proteinet oprenses fra mikroalgerne. Teknologien til ekstraktion og oprensning af mikroalgeprotein skal optimeres til den type af mikroalge, der anvendes, samt produktionsmetoden (autotroft eller heterotroft).

Derudover mangler der viden på de funktionelle egenskaber af oprenset mikroalgeprotein. Egne data viser dog interessante takter med skumningsegenskaber på højde med æggehvite.

#### Produktionspotential i DK

Her kan der i princippet produceres meget store mængder af protein, men produktionen er begrænset af forholdsvis høje omkostninger til produktion, der både omfatter udgifter til produktion og processering af mikroalgerne til at oprense proteinet (Smetana et al. 2017).

#### Eksportpotentiale

Der produceres i dag allerede mikroalger i forholdsvis stor skala. Dog produceres der mest med henblik på produktion af farvestof eller andre højværdiprodukter. Det forventes ikke at mikroalgeproduktion i DK har nogen konkurrencefordel ift. til produktion i andre lande. De laveste omkostninger til produktion af mikroalger findes i områder med meget sollys (Smetana et al. 2017).

## Klima- og miljøeffekter

Her har mikroalgeprotein en fordel da mikroalgerne kan produceres i lukkede systemer, hvor udvaskning til miljøet i kan undgås. Mikroalgeproduktionen kan som nævnt ovenfor også bruge sidestrømme fra andre processer, hvilket kan give positive klima- og miljøeffekter, men disse produktionsformer er endnu ikke blevet kombineret med produktion af protein til fødevarer.

## Barrierer

Den største barriere ift. produktion af mikroalgeprotein til fødevarer er omkostningerne til produktion der på nuværende tidspunkt ikke gør proteinet konkurrencedygtigt med andre proteinkilder. Hvis mikroalgeprotein skal blive konkurrencedygtigt med andre proteinkilder, skal der optimeres på både produktions- og oprensningens metode. Det kan også blive nødvendigt at undersøge, om andre typer af mikroalger har bedre egenskaber ift. at producere protein til fødevarer.

## Kilder

- Araújo et al. (2021). <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.626389>
- Becker (2007). <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>
- Caporgno et al. (2018). <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00058>
- Mendes et al. (2022). <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/13/1871>
- Safi et al. (2013). <https://doi.org/10.1007/s10811-012-9886-1>
- Smetana et al. (2017). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.113>
- Teknologisk.dk. <https://www.teknologisk.dk/projekter/projekt-groenne-grise-svineproduktion-og-alger/37369>.
- Ursu et al. (2014). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.071>
- Wang et al. (2020). <https://doi.org/10.3390/foods911153>
- Weide et al. (2014). <https://edepot.wur.nl/316948>

### 5.4.11 Single cell protein

*Forfatter: Anders Hauer Møller og Trine Kastrup Dalsgaard*

#### Rationale/idegrundlag

"Single cell protein" dækker over en lang række forskellige encellede organismer der kan bruges til at producere protein. Disse organismer kan være mikroalger (beskrevet i andet datablad), gærceller, eller bakterier. Brugen af encellede organismer til proteinproduktion udnytter generelt, at organismene har et højt indhold af protein (op til 70 % af celledmassen), og at organismene kan gro på simple og forskelligartede næringskilder. Det giver produktion af "single cell protein" en lang række fordele. Organismene kan vokse på meget diverse næringskilder som kan være affaldsprodukter fra forskellige produktioner (melasse fra sukkerproduktion, citrusfrugtskal, paperaffald, træaffald og en lang række andre) men også metanol eller methan ved brug af methanotrofe bakterier og svovlholdige affaldsstrømme ved brug af svovlbakterier (Anupama og Ravindra 2000, Ritala et al. 2017). Dog vil mange af substraterne kun kunne anvendes til produktion af protein til foder. Hvis proteinet skal bruges til fødevarer skal man også tage højde for at næringskilderne skal være kontrollerede og hele processen godkendes til fødevarerproduktion. Der findes også hydrogenoxiderende bakterier, der er i stand til at fikserer nitrogen (Hu et al. 2020), hvilket har givet metoden navnet "protein from thin air". Det kræver dog at der tilsættes brint som skal produceres f.eks. ved elektrolyse.

Generelt for single cell protein gælder det, at organismene kan kultiveres i lukkede systemer, der gør, at man kan kontrollere ind- og udgangsstrømme fra processen, hvorved man kan lave optimale vækstbetingelser for organismene.

#### Anvendelsesmuligheder

Om biomassen kan bruges til direkte konsum afhænger af, hvilken organisme der bruges og hvilket substrat organismen er groet på. Nogle organismer har cellevægge, der ikke kan nedbrydes i den menneskelige fordøjelse, og nogle har høje indhold af RNA, der kan give problemer ved indtag. Ydermere kan nogle organismer producere toksiner.

Der findes en lang række metoder til at reducere indholdet af RNA og nedbryde organismernes cellevægge f.eks. varmebehandling, og man har undersøgt alternative organismer, der har tyndere cellevægge.

Der findes allerede kommercielle produkter produceret som single cell protein, der bruges som fødevarer såsom gærflager (inaktiveret gær), Quorn® (varmebehandlede gærceller) eller marmite®/vegemite® og andre lignende produkter (hydrolyserede gærceller fra ølproduktioner). Produkterne produceret på gærceller har den fordel, at de ofte indeholder komponenter, der bidrager til umami smag, og derudover har et gær-celle-produkt som Quorn® også en struktur, der minder om kød (Ahmad et al. 2022). Desuden er

proteinproduktet "Solein" fra hydrogenreducerende bakterier også godkendt til fødevarer i Singapore, mens det ikke er godkendt i EU endnu.

### Teknologiens modenhed

Ift. produktion af single cell protein til fødevarer bliver forskellige gærprodukter allerede produceret i dag, og der findes også mindre produktioner af f.eks. gærflager i DK. Derudover producerer Unibio A/S også single cell protein med metanotrofe bakterier, men her går produktionen til foderprotein. Der ligger mest viden omkring single cell protein til foder, mens der er mindre viden om brugen af single cell protein til fødevarer, hvor den meste viden er fokuseret på protein fra gærceller. Der er meget lidt viden omkring brugen af bakterier til single cell protein og deres anvendelighed i fødevarer, og det afhænger af, hvilken type "single cell protein", der anvendes. Som nævnt ovenfor produceres der allerede single cellprotein til fødevarer, hvor de f.eks. anvendes som kød-erstatninger. I forhold til at anvende protein fra "single cell" organismer som fødevaringredienser er der meget lidt eller ingen viden om de funktionelle egenskaber af proteinet, der evt. kunne ekstraheres.

### Produktionspotential i DK

I princippet kan der produceres store mængder "single cell protein", da produktionen sker i tanke, hvor produktionen kan skaleres op. Indtil videre er produktionen stadig forholdsvis dyr, så prisen på fødevarer-godkendt gærprotein er sammenlignelig med prisen på kød (Souza Filho 2022), og det vil formentligt være en begrænsende faktor. En måde at gøre produktionen billigere er at bruge andre næringskilder som f.eks. affaldsstrømme, men det kan være problematisk at få de endelige protein-produkter fødevarer-godkendt.

### Eksportpotentiale

Som nævnt produceres der allerede diverse gær-protein-produkter, der må antages at kunne vinde frem, da der er stort fokus på kød-erstatningsprodukter. Hvis man kan lave en konkurrencedygtig produktion i DK, vil den også kunne eksporteres til udlandet. Der er dog andre lande end DK, der er længere fremme med produktion af "single cell protein" til fødevarer.

### Klima- og miljøeffekter

De største fordele i forhold til klima og miljø kan opnås, hvis der produceres "single cell protein" ved brug af affaldsstrømme fra industri eller landbruget. Men her vil det producerede protein typisk kun kunne anvendes til foder. Det "single cell protein", der produceres til fødevarer i dag som f.eks. gær-protein har i en LCA vist sammenlignelige klima- og miljøeffekter som protein i kylling (Smetana et al. 2015). En LCA af "Single cell protein" produceret på hydrogenoxiderende bakterier har tilsvarende vist, at miljø- og klimaeffekterne er lavere end for oksekød, opdrættede fisk og æg under forudsætning af at den brint, der skal bruges produceres med en bæredygtig energikilde (Järviö et al. 2021).

## Barrierer

Som nævnt ovenfor findes der allerede produkter produceret på gærceller, som bruges i fødevarer. Brugen af andre næringskilder og organismer er meget interessant, da det kunne sænke produktionsomkostninger og give positive klima- og miljøeffekter, men det kræver udvikling/forskning og kvalitetssikring at få godkendt disse til brug i fødevarer. Derudover vil det kræve investeringer at få opbygget anlæg af en størrelse, der giver en rentabel produktion, og som kan bidrage signifikant som en alternativ proteinkilde.

## Kilder

- *Ahmad et al. (2022)*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.027>
- *Anupama et al. (2000)*. [https://doi.org/10.1016/s0734-9750\(00\)00045-8](https://doi.org/10.1016/s0734-9750(00)00045-8)
- *Hu et al. (2020)*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06755>
- *Järviö et al. (2021)*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145764>
- *Ritala et al. (2017)*. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>
- *Smetana et al. (2015)*. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0931-6>
- *Souza Filho (2022)*. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.04.003>

## 5.4.12 Proteiner fra præcisionsfermentering

*Forfattere: Lotte Bach Larsen og Nina Aagaard Poulsen*

### Rationale/idegrundlag

Præcisionsfermentering muliggør produktion af høj-værdi fødevarerproteiner i mikrobielle cellefabrikker med potentielt lavere klimaaftryk. I teknologien indsættes et eller flere ønskede gener i mikroorganismer som bakterier, gær eller filamentøse svampe (Williams 2021, Chai et al. 2022, Hettinga og Bijl 2022), som derefter producerer det/de ønskede protein(er). Teknologien involverer dermed genetisk modificerede organismer (GMO), men selve fødevareren vil være et oprenset produkt (Williams 2021). Det er en teknologi som er velkendt indenfor f.eks. fødevarerenzymmer, hvor man i en årrække har anvendt enzymer fra præcisionsfermentering i fødevarerproduktion. I de seneste år har præcisionsfermentering fået en stor revitalisering i lyset af muligheden for at syntetisere især animalske proteiner ved fermentering som erstatning for animalsk produktion motiveret af klimadagsordenen (Tubb og Seba 2021). Proteinkvaliteten i f.eks. mælkeprotein har en "digestible indispensable amino acid score" (DIAAS) på over 1.00, hvilket er kriteriet for en meget god proteinkilde, og højere end for f.eks. planteprotein (FAO report 2011). Præcisionsfermentering muliggør dermed produktion af højværdi animalsk protein, men uden dyrehold. Indenfor både forskningen og fødevarerindustrien er der mange initiativer, både mht. små start-ups og store, eksisterende virksomheder, som positionerer sig indenfor området.

### Anvendelsesmuligheder

Der er behov for oprensning efter fermentering, for at produktet er en "fødevarer" (Williams 2021). De rekombinante proteiner oprenses efter selve fermenteringsprocessen fra værtscellerne i fermenteringstanken ved separation af selve fermenteringsvæsken fra cellemassen eller mikroorganismene. Efter separation af de udtrykte proteiner fra fermenteringscellerne, og eventuelt yderligere processering, kan de anvendes som fødevarer ingredienser. Eksempler er bovint mælkeprotein, æggeprotein eller soja leghemoglobin produceret ved præcisionsfermentering (Williams 2021). Perfect Day har lanceret en is baseret på plantebaserede ingredienser tilsat præcisionsfermenteret mælkeprotein. Præcisionsfermentering kan således understøtte både produktion af animalske fødevarerproteiner, men også smagsgivere mv til plantebaserede produkter eller f.eks. vækstfaktorer til brug i produktion af kultiveret kød (GFI 2021a). Potentialet vurderes at være enormt. Det forventes at man vil se proteinet anvendt i både traditionelle produkter, hybridprodukter og helt nye produkter.

### Teknologiens modenhed

Første trin involverer valg af protein og dermed det gen og den DNA-sekvens, der skal udtrykkes. Næste trin er at indsætte genet i en værtsspecifik vektor som indsættes i værtsorganismen, som herefter vil udtrykke genet. Teknologien er velkendt fra medicinalindustrien men også fra fødevarerområdet indenfor produktion af enzymer. Et eksempel på dette er kalveenzymeret chymosin, som produceres af virksomheden Chr. Hansen. Tidligere har teknologien dog ikke været anvendt til produktion af "bulk" fødevarerproteiner. Dermed

kræver teknologien, at flere flaskehalse overkommes, således at der kan produceres nok og med nødvendig effektivitet, at det producerede protein kan oprensnes til ønsket renhed og har de ønskede funktionelle og biologiske egenskaber. Ny CRISPR teknologi kan effektivisere kloningsprocessen (Williams 2021). Teknologien er dermed moden og kendt fra enzymområdet. Præcisionsfermentering af fødevarerprotein kræver hygiejnisk design, og produktion under strenge, stabile betingelser for at mikroorganismene kan producere det rette produkt i ønskede mængder, hvor medier, pH, temperatur, tryk, celle densitet og andre faktorer monitoreres og tilpasses.

Ved præcisionsfermentering er det kun de enkeltproteiner, der indsættes i mikroorganismen, der produceres, og ikke den komplekse fødevarermatrix som man kender fra f.eks. mælk. De udtrykte proteiner kan endvidere være ændret, da de mikrobielle celler ofte ikke er i stand til at syntetisere proteinerne med samme funktionelle modifikationer på proteinsekvensen, som dem der er til stede ved proteiner udtrykt af animalske celler. Dette kan betyde, at ernæringsværdi og funktionalitet i fødevareren er ændret. For eksempel vil ændret proteinfoldning potentielt have effekt på opløselighed eller mineralbinding. Disse egenskaber har afgørende betydning for anvendelsespotentialet.

#### Produktionspotentiale i DK

Området er præget af mange internationale start-up virksomheder (som for eksempel Perfect Day, The EVERY Company, Those Vegan Cowboys, New Culture, Real Deal Milk m.fl.). Danmark har lang tradition indenfor præcisionsfermenteringsområdet med virksomheder som Novozymes, Chr. Hansen og DSM/Glycom. Det betyder stor ekspertise i eksisterende virksomheder. Tilgængelighed af uddannede medarbejdere er helt essentielt, men også lokation, adgang til råmaterialer, energi, rammer for lovgivning. Man kan forvente, at der vil ske etablering af samarbejder mellem traditionelle fødevarerproducenter og præcisionsfermenteringsvirksomheder, ligesom der vil være plads til start-ups og mellemstore producenter som har fleksibilitet og kan bygge bro mellem laboratorieskala og kommerciel produktion. Det forventes endvidere, at produktionspotentialet er meget stort i Danmark. Et eksempel kan være produktion af bovint kasein, hvor prisen er omkring €10-12 per kg (USDA 2022), men også andre ingredienser, som for eksempel valleproteiner. Et modelleringsstudie for produktion af valleprotein  $\alpha$ -laktalbumin i *E. coli* konkluderede, at produktion af rekombinant protein kan være rentabel (Vestergaard et al. 2016). Såfremt flaskehalse i relation til mængde, pris og kvalitet på de producerede proteiner kan overkommes, forventes store fremtidige investeringer på området. Hvis Danmark ikke er med til at producere og markedsføre rekombinante proteiner, vil udenlandsk produktion af fødevarerprotein og ingredienser potentielt på sigt disrupte dele af den danske fødevarerproduktion, herunder ingrediensbranchen.

## Ekспортpotentialer

Den danske ingrediensbranches globale omsætning udgør 50,2 mia. kr. om året, hvoraf 64 % af produktionen i Danmark eksporteres. Fra 2012-2018 er eksporten vokset med 9 mia. kr (Damvad Analytics 2020). I 2021 blev der investeret 1,69 mia. \$ i fermenteringsvirksomheder indenfor alternative proteiner primært i USA (GFI 2021a). Rentabilitet og mulighed for kommercialisering vil afhænge af den individuelle business-case for hvert enkelt område/produkt/protein, men med den globale vækst og behov for fødevarerprotein er potentialet enormt.

## Klima- og miljøeffekter

Produktion i større mængder af fødevarerprotein ved præcisionsfermentering er stadig på et tidligt stadie. Der er ikke tilgængelige data omkring klima- og miljøeffekter. Produktionen sker i lukkede fermenteringstanke, som indeholder GMO. En effektiv produktion er energikrævende, f.eks. til omrøring, iltning og køling, og produceret varme fra processen skal kunne genbruges. Der vil produceres meget spildevand, som skal kunne behandles og genbruges. Brug af sidestrømme og bæredygtige, kosteffektive råmaterialer i vækstmedier er et vigtigt fokus i forhold til bæredygtig produktion og endvidere skal energiforbruget til oprensning og tørring af proteinerne minimeres/effektiviseres (Witte et al. 2021).

## Barrierer

De nuværende barrierer omfatter viden om valg af mikroorganisme til effektiv og tilstrækkelig produktion af protein til, at processen bliver rentabel. Desuden er det producerede proteins kvalitet i forhold til funktionalitet en udfordring. Bakterier mangler det synteseapparat der kan give animalske proteiner post-translationalle modifikationer, og dermed vil bakterielt producerede proteiner ofte mangle funktionalitet i forhold til proteiner udtrykt af animalske celler, hvilket kan være problematisk for de rekombinante proteinernes anvendelsesmuligheder. Produktion i gærceller kan delvist overkomme dette, da gærceller har et mere avanceret synteseapparat, men på den anden side ofte kan ophobe klonede proteiner intracellulært i vakuoler hvorefter de nedbrydes eller udskilles sammen med proteinnedbrydende enzymer, som også vil forringe proteinkvaliteten og funktionalitet (Williams 2021).

Der er desuden behov for erhvervsmæssig konsensus omkring nomenklatur og definition af de nye produkter, samt forbrugeroplysning og -accept. Der er behov for styrkelse af uddannelse af nye medarbejdere og forskning indenfor områderne; meget af den viden, der pt opbygges, findes kun i virksomhederne og er dermed ikke offentligt tilgængeligt.

Der er pt store forskelle i lovgivning og regulativer mellem lande og regioner indenfor brug af proteiner i fødevarer, der er produceret ved præcisionsfermentering, og nye produkter vil f.eks. i EU skulle igennem en novel food godkendelse. Der er således en risiko for, at produktion flyttes til lande med mere lempelige regler for novel foods. Der er derfor behov for initiativer, så vi ikke overhales og disruptes af parallelle udenlandske produkter. Proteinproduktion via anvendelse af GMO er pt uforenelig med økologisk produktion.



## Kilder

- Chai et al. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100881>
- Damvad Analytics (2020). [https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/International%20koordination/Ingrediens/Damvad%20rapport\\_ingredientsbranchen.pdf](https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/International%20koordination/Ingrediens/Damvad%20rapport_ingredientsbranchen.pdf)
- GFI (2021). [https://gfi.org/wp-content/uploads/2022/04/Executive-summary\\_Fermentation\\_2021-State-of-the-Industry-Report.pdf](https://gfi.org/wp-content/uploads/2022/04/Executive-summary_Fermentation_2021-State-of-the-Industry-Report.pdf)
- Hettinga et al. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2022.102690>
- Miller et al. (2006).
- Tubb et al. (2021). <https://doi.org/10.1089/ind.2021.29240.ctu>
- USDA. (2022). [https://www.ams.usda.gov/mnreports/md\\_da751.txt](https://www.ams.usda.gov/mnreports/md_da751.txt).
- Vestergaard et al. (2016). <https://doi.org/10.1038/srep36421>
- Williams (2021). <https://doi.org/10.1146/annurev-food-061220-012838>
- Witte et al. (2021). <https://web-assets.bcg.com/a0/28/4295860343c6a2a5b9f4e3436114/bcg-food-for-thought-the-protein-transformation-mar-2021.pdf>

### 5.4.13 Protein fra kultiveret kød

*Forfattere: Jette F. Young og Margrethe Therkildsen*

#### Rationale/idegrundlag

Kultiveret kød er et nyt fødevarer-koncept, som forventes at kunne produceres med mindre klimabelastning, areal og vandforbrug sammenlignet med konventionel kødproduktion (Tuomisto og Teixeira de Mattos 2011). Processen tager udgangspunkt i kultivering af primært muskelceller i bioreaktorer og forventes at have tilsvarende sammensætningen som konventionelt produceret kød. Den identiske proteinstruktur i muskelfibrene vil have samme høje fordøjelighed som konventionelt kød, hvor alle essentielle aminosyrer er repræsenteret i optimal sammensætning (høj biologisk værdi) og med høj fordøjeligheds-score (protein digestibility corrected amino acid score; PDCAAS) (Pereira og Vicente 2013). Kultiveret kød nævnes ofte som en alternativ proteinkilde på lige fod med plante-protein, men kultiveret kød kan forventes at have en højere biologisk næringsværdi, højere indhold af essentielle aminosyrer og en høj biotilgængelighed, sammenlignet med plante-baserede alternativer.

Næringsstoffer til produktion af kultiveret kød kan komme fra specifikke proteiner og fedtstoffer fra planter/alger eller andre fødevarer-strømme inklusiv konventionel kødproduktion, hvorved der ligger en værdiforøgelse og berigelse af disse (Andreassen 2022).

#### Anvendelsesmuligheder

På kort sigt forventes produktet at være sammenlignelig med hakket kød, dvs. det vil kunne anvendes som dette produkt. Der arbejdes på at lave mere sammenhængende produkter, der tættere simulerer et helt stykke kød (alephfarms.medium.com 2021), men det perspektiv er længere ude i fremtiden. Udover kødproduktet i sig selv bliver der også forsket i muligheder for blandingsprodukter. Muskelcellerne skal have et stillads at hæfte sig til for at vokse og udvikle sig. Dette stillads kan være af animalsk oprindelse f.eks. bindevæv (Andreassen et al. 2022) eller være baseret på plantemateriale f.eks. tekstureret sojaprotein (Ben-Arye et al. 2020). I sidstnævnte tilfælde vil der være tale om et hybridprodukt hvor balancen imellem det vegetabiliske stillads og de vedhæftede muskelceller kan varieres, hvilket leder til en ny produktkategori som er både plante- og dyrebaseret.

#### Teknologiens modenhed

Teknologien er stadig på forsknings- eller pilot plant niveau. Der er ingen steder hvor produktionen er opskaleret til industriskala (GFI 2021b). I Singapore blev produkter fra kultiverede kyllingeceller godkendt i 2020 til humant konsum, og i november 2022 godkendte United States Food and Drug Administration (FDA) kultiveret kød som sikkert at spise. I Danmark er der to registrerede startupvirksomheder (Meat Tomorrow og Nordic Virtual Pasture-NVP), der arbejder på henholdsvis en stamcellemodel og et optimeret næringsmedie til celledyrkning. Begge firmaer har i 2022 opnået støtte fra Novo Nordisk Bio Innovation Hub til analyse/udvikling af teknologi og business potentiale/modning. Begge firmaer er i den tidlige fase. Der foregår megen forskning og udvikling i private virksomheder og start-ups i USA, Israel og Holland, som

de seneste ca. 10 år har drevet udviklingen af kultiveret kød. Forskning og udvikling i privat regi betyder at viden ofte ikke bliver delt mellem virksomheder og forskningsmiljøer. Der er indenfor de seneste 5 år blevet etableret internationale forskningsmiljøer, der arbejder med kultiveret kød bl.a. Wageningen Universitet i Holland samt UC Davis og Tufts Universitet i USA. Der afholdes nu internationale konferencer, hvor resultater bliver delt, og der publiceres i peer reviewed tidsskrifter, hvilket er meget værdifuldt for at kunne bygge oven på hinandens viden og dermed støtte udviklingen af produktionen. Således var der i 2018 10 forskningsartikler, mens tallet for 2020 var 50 og i 2021 var antallet steget til 90 videnskabelige artikler (GFI 2021b). I Danmark har vi etableret et netværk med de nordiske lande, hvor der bl.a. pågår forskning på Nofima i Norge vedr. kultiveringsprocessen og på Helsinki Universitet vedr. LCA. Der pågår forskning i kultiveret kød på Aarhus Universitet, med fokus på at udnytte viden fra konventionel kødproduktion og kvalitet i udviklingen af kultiveret kød med humant konsum for øje. Baseret på eksisterende ekspertise blev det første projekt med specifikt fokus på kultiveret kød påbegyndt i 2020 og området blev signifikant styrket med offentlige og private midler i 2022 der rækker ind i 2027. Der er fortsat rigtig megen viden, der skal genereres for at lave en effektiv og bæredygtig produktion. En skalerbar og omkostnings-effektiv forsyning af næringsstoffer til vækst af muskelcellerne er et afgørende område for den fremtidige produktion. Dette kunne skabes gennem en bæredygtig produktion af næringsstoffer f.eks. baseret på alger eller encellede organismer. Alternativt kan det cirkulære aspekt inddrages, således at næringsstoffer, der ikke udnyttes på nuværende tidspunkt (f.eks. fra fødevarerproduktion, inkl. slagterier) kan anvendes til kultiveret kød. Derudover er miljøet omkring cellerne vigtig for kvaliteten, f.eks. har cellernes udvikling til muskelfibre betydning for funktionaliteten af det endelige produkt (vandbinding, farve og tekstur). Smagen færdigudvikles i perioden efter høst af muskelfibrene, og vil tilsvarende afhænge af miljøet (temperatur, pH og iltniveau). Endelig skal næringsværdien af det færdige produkt i størst mulig grad sikres via sammensætningen af cellekulturmediet. Alle disse områder kræver forskning, der enten skal videreføres eller påbegyndes.

### Produktionspotential i DK

Det er usikkert at sige noget om produktionspotential i Danmark på nuværende tidspunkt. Danmark har stor viden på biotek-området f.eks. produktion af enkelt proteiner (enzymer) i bioreaktorer. Hvis produktion af selve det kultiverede kødprodukt ikke etableres i Danmark, vil danske virksomheder kunne levere del-elementer f.eks. tilpassede bioreaktorer eller ingredienser som vækstfaktorer eller næringsstoffer til cellekulturmediet. Begrænsningen ligger i hvorvidt lovgivningen for en egentlig produktion af kultiveret kød etableres og produktionen kan opnå et omfang, så business casen for udstyr og ingredienser bliver tilstrækkelig attraktiv.

### Eksportpotentiale

Forskning i kultiveret kød foregår globalt, og produktionen vil principielt kunne etableres over hele verden afhængig af den lokale næringsstofforsyning. Danmarks rolle vil forventeligt være som eksportør af viden, udstyr og ingredienser til produktion andre steder.

## Klima- og miljøeffekter

Hele produktionen er drevet af en forventet lavere klimabelastning fra denne produktion sammenlignet med traditionel kødproduktion, under forudsætning af, at der anvendes bæredygtig energi til produktionen. Derudover forventes der et mindre vandforbrug og en mindre arealbeslaglæggelse (Tuomisto og Teixeira de Mattos 2011, GFI 2021b, Tuomisto et al. 2022).

## Barrierer

Forbrugernes accept af produktionsformen og produktet er en forudsætning for afsætning. Derfor er information og forbrugerinddragelse helt central og bør indtænkes og undersøges sideløbende med teknologudviklingen. På det teknologiske område skal der forskes dels i stamcelleudvikling og tilpasning, ingredienser (næringsstoffer og vækstfaktorer) til cellekulturmediet, samt udvikling af smag og næringsværdi af det endelige produkt. Dette hænger uløseligt sammen med forbrugeraccept og dermed afsætningspotentiale. Endelig bør forskning i LCA og CO<sub>2</sub> food print løbende opdateres, så det reflekterer udviklingen på det teknologiske område.

## Kilder

- *alephfarms.medium.com*. (2021). <https://alephfarms.medium.com/aleph-farms-and-the-technion-reveal-worlds-first-cultivated-ribeye-steak-465168a435a1>.
- *Andreassen* (2022). <http://urn.nb.no/URN:NBN:no-93640>
- *Andreassen et al.* (2022). <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2022.121602>
- *Ben-Arye et al.* (2020). 10.1038/s43016-020-0046-5
- *GFI.* (2021). <https://gfi.org/resource/cultivated-meat-eggs-and-dairy-state-of-the-industry-report/>
- *Pereira et al.* (2013). <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.09.018>
- *Tuomisto et al.* (2022). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158051>
- *Tuomisto et al.* (2011). <https://doi.org/10.1021/es200130u>

#### 5.4.14 Protein fra cellulær mælk

*Forfattere: Lotte Bach Larsen og Nina Aagaard Poulsen*

##### Rationale/idegrundlag

Cellulær mælk, også kaldet kultiveret mælk, eller *in vitro* mælk er baseret på teknologier, hvor der anvendes animalske eller humane celler fra mælkekirtelvæv til produktion af mælkekomponenter. Det kan være epithelceller fra mælkekirtlen udtaget i forbindelse med operation eller slagting, i nogle tilfælde stamceller, eller eventuelt epithelceller udtaget fra mælken selv, hvor 1-2 % af mælakens somatiske celler vil være epithelceller. Efter udtagning dyrkes disse celler i supporterende materialer, hvorved cellerne under deres vækst og formering forventes at kunne udskille mælkekomponenter (kultiveret mælk). Cellerne skal vokse i vækstmedie, som indeholder nødvendige næringsstoffer, og muligvis også forskellige laktationshormoner. Der er derfor behov for et teknologisk 3D system, hvorved de mælkekomponenter, som syntetiseres af cellerne og forventes udskilt, kan opsamles adskilt fra det tilgående næringsmedie, ultimativt på en kontinuerlig måde.

##### Anvendelsesmuligheder

Såfremt teknologien videreudvikles og modnes vil anvendelsesmulighederne være at anvende de syntetiserede mælkekomponenter til enten specifikke mejeriprodukter eller modernmælkerstatning, alt efter udgangsmaterialet. I begge tilfælde er der behov for oprensning og separation fra det anvendte næringsmedie. Såfremt det lykkes at syntetisere en stor del af mælakens komponenter, vil anvendelsesmulighederne afhænge af oprindelsen af de celler, der er dyrket (bovine, humane eller andre mammale celler). Det kan være produkter rettet mod babyer, for tidligt fødte, ældre eller segmenter med specielle behov. Ved kultivering af humane celler er perspektivet, at der kan produceres skræddersyet "modernmælk" fra egen moder til babyen med de potentielle biologiske fordele, det kunne have.

##### Teknologiens modenhed

Teknologien er på proof-of-concept stadiet. Der arbejdes både med cellelinjer og differentierede celler (milkgenomics.org 2021). 3D kulturer af bovine mælkeceller er rapporteret (Hillreiner et al. 2017, Tsugami et al. 2020, Walter et al. 2020). For nuværende er teknologien primært baseret på et to-kammer system, hvor et lag celler understøttet af gelmateriale på en porøs overflade er adskilt fra selve vækstmediet med næringsstoffer og hormoner, som er i det nederste kammer mod cellernes baso-laterale side. Det øvre kammer indeholder kun et minimum af aminosyrer og andre næringsstoffer og vender mod cellernes apikale side, hvorfra de syntetiserede mælkekomponenter udskilles. Syntese af mælkeprotein, laktose og triglycerid blev påvist at blive syntetiseret i systemet (Walter et al. 2020). De få studier der er publiceret indenfor området har bl.a. påvist, at en række proteiner kan syntetiseres, men ikke alle komponenter blev udskilt fra cellerne (Tsugami et al. 2020), ligesom det er under debat om systemet kræver dannelse af organoider for at være biologisk effektivt. To-kammer systemet er udelukkende til forskning og udvikling, da det ikke vil kunne understøtte en kontinuert flux ind-ud af celler, næringsmedie og producerede biomolekyler i det

såkaldte sekretom. Der arbejdes, især i start-up virksomheder, som TurtleTree (Singapore og USA), Biomilk (USA) og Wilk (Israel) med udvikling af biofiber/hule strå- eller bioreaktor-baserede teknologier for at opskalere produktionen.

I forhold til f.eks. præcisionsfermentering, hvor der kun produceres udvalgte enkeltkomponenter, forventes cellebaseret mælk bedre at kunne repræsentere den komplekse molekylære sammensætning, som kendetegner mælk. Det skal dog afklares, i hvor høj grad cellebaseret mælk vil indeholde de samme mælkekomponenter og komplekse strukturer, som er til stede i mælk, f.eks. kaseinmiceller, fedtkugler, laktose, vitaminer og mineraler. Der forskes i det for øjeblikket, både nationalt og internationalt; i Danmark bl.a. ved Aarhus Universitet i CleanPro projektet støttet af Landbrugsstyrelsen (CleanMeat and CleanMilk – future sustainable food production) og i CleanMilk projektet under MejeriBrugets ForskningsFond (Composition of "CleanMilk" from in vitro grown milk cells), ligesom der også pågår netværksaktiviteter med forskere i Israel (Dairy proteins and future alternatives) og Kina (Exploring Danish-Chinese collaboration for sustainable cellular milk production), samt i det nye AUFF Flagship, CellFood (AU CellFood hub boosts development of cellular foods) og i NNF indsatsen for bæredygtige medier til cellebaserede fødevarer (SusCellFood – Sustainable production of cultured meat and milk) og i netværket Cow Free Protein (cowfreeprotein.dk).

#### Produktionspotential i DK

Cellulær mælk er et ret nyt område, som i den grad er præget af nybrud, start-up virksomheder og forskning. Sammen med præcisionsfermentering og kultiveret kød er teknologien præget af internationale start-up-virksomheder med betydelig kapital bag sig, hvis potentiale for fremtidig disruption af nuværende mælkeproduktion er uvis. Der vurderes at være gode muligheder for etablering af cellulær af kultiveret mælk i Danmark, og der vurderes ikke at være specielle barrierer i Danmark, frem for andre lande, rent produktionsmæssigt. Det vil kræve viden, know-how, kapital og regulatorisk godkendelse som fødevarer.

#### Eksportpotentiale

Det forventes ikke, at cellulær mælk vil erstatte amning, men have perspektiver indenfor modernælkserstatning samt ingrediensindustrien. Det er et område, hvor Danmark og danske virksomheder kan have en betydelig position, og såfremt teknologien modnes og området etableres vil der være betydelige eksportmuligheder.

#### Klima- og miljøeffekter

Såfremt de teknologiske og biologiske barrierer løses vil cellulært mælk muligvis kunne produceres med lavere klimaaftryk end bovin mælk, men det vil afhænge af den endelige teknologi og mulighederne for opskalering af produktion. Der foreligger for nuværende ikke beregninger herpå.

## Barrierer

Indenfor cellulært mælk er der store teknologiske udfordringer. Selv hvis/når selve bioreaktor eller organoid<sup>4</sup> problematikken løses, er der stadig en række mere biologisk baserede udfordringer og viden, der mangler. Det retter sig især mod viden om betydning af biologisk variation for udtagning af cellerne, identifikation og oprensning af de rette celletyper fra vævet/mælken, levedygtighed af disse, eventuel kemisk eller anden transformation af de differentierede epithelceller tilbage til en form for stamcelle med bedre levedygtighed, krav til vækstmedie og tilsatte hormoner. De nødvendige medier og hormoner indeholder animalske komponenter for at hjælpe cellerne til vækst. Disse er både dyre og baseret på animalsk produktion. Det vil være nødvendigt at løse dette, således at fremtidig produktion kan være baseret på bæredygtige medier, f.eks. baseret på sidestrømme eller være plantebaserede. Disse udfordringer er ikke løst. Der er behov for forskning indenfor integrering med præcisionsfermenteringsområdet, da en del af udfordringerne med bæredygtige medier og hormoner muligvis kan løses gennem og ved synergi med denne teknologi. Der er igangsat national forskning indenfor området. Området er præget af start-ups med stort tilført kapital og manglende vidensdeling, derfor behov for fortsat og kontinuert forskning for offentlige midler, der kan understøtte national positionering og uddannelse af nye medarbejdere. Cellebaseret mælk forventes ikke at være forenelig med økologisk produktion. Der er behov for rammesætning og afklaring af begreber og terminologi.

---

<sup>4</sup> Cellerne kan organisere sig som de er i mælkekirtlens sekretoriske væv med lumen og overflade.

## Kilder

- AU CellFood hub boosts development of cellular foods. <https://food.au.dk/cellfood-hub>.
- CleanMeat and CleanMilk – future sustainable food production. [https://pure.au.dk/portal/en/projects/cleanmeat-and-cleanmilk--future-sustainable-food-production\(8b8fe376-e2dc-4bbb-a9bf-21ff1ee4c5f4\).html](https://pure.au.dk/portal/en/projects/cleanmeat-and-cleanmilk--future-sustainable-food-production(8b8fe376-e2dc-4bbb-a9bf-21ff1ee4c5f4).html)
- Composition of "CleanMilk" from in vitro grown milk cells. [https://pure.au.dk/portal/en/projects/sammensaetning-af-cleanmilk-fra-in-vitro-kultiverede-maelkeceller\(74794c32-bfcb-4047-81bf-336a78bf90f7\).html](https://pure.au.dk/portal/en/projects/sammensaetning-af-cleanmilk-fra-in-vitro-kultiverede-maelkeceller(74794c32-bfcb-4047-81bf-336a78bf90f7).html)
- cowfreeprotein.dk. <https://www.cowfreeprotein.dk/>.
- Dairy proteins and future alternatives, [https://pure.au.dk/portal/en/projects/dairy-proteins-and-future-alternatives\(c754d19a-43ff-4e29-9467-bf325beed01e\).html](https://pure.au.dk/portal/en/projects/dairy-proteins-and-future-alternatives(c754d19a-43ff-4e29-9467-bf325beed01e).html)
- Exploring Danish-Chinese collaboration for sustainable cellular milk production, [https://pure.au.dk/portal/en/projects/exploring-danishchinese-collaboration-for-sustainable-cellular-milk-production\(c4f2d2b3-86fb-4dc8-897c-74a5a929f76d\).html](https://pure.au.dk/portal/en/projects/exploring-danishchinese-collaboration-for-sustainable-cellular-milk-production(c4f2d2b3-86fb-4dc8-897c-74a5a929f76d).html)
- Hillreiner et al. (2017). 10.1007/s11626-017-0169-7
- milkgenomics.org. (2021). <https://www.milkgenomics.org/?splash=the-promise-and-challenges-of-producing-human-milk-in-the-lab>.
- SusCellFood – Sustainable production of cultured meat and milk, [https://pure.au.dk/portal/da/projects/suscellfood--sustainable-production-of-cultured-meat-and-milk\(ec955431-f4a1-485e-95e2-dfd0c7e7399f\).html](https://pure.au.dk/portal/da/projects/suscellfood--sustainable-production-of-cultured-meat-and-milk(ec955431-f4a1-485e-95e2-dfd0c7e7399f).html)
- Tsugami et al. (2020). <https://doi.org/10.1111/asj.13355>
- Walter et al. (2020). <https://doi.org/10.1007/s11626-020-00457-2>



### 5.4.15 Proteiner fra insekter

Forfatter: Jan Værum Nørgaard og Trine Kastrup Dalsgaard

#### Rationale/idegrundlag

På under et årti har R&D i insekter som fødevarer og foder muliggjort industriel insekt-produktion. Produkterne er rige på protein og kan delvist erstatte kød til humant konsum samt sojabaserede råvarer og andre forædlede vegetabiliske og animalske proteinkilder i foder til husdyr. Insekter har generelt en effektiv udnyttelse af næringsstoffer, og muligheden for at fodre dem med biprodukter/lavværdibiomasser gør, at de anses for bæredygtige proteinkilder.

#### Anvendelsesmuligheder

I EU er der for nuværende fire slags insekter novel food godkendte til brug i/som i fødevarer, hvilket gælder for almindelig vandregørshoppes (*Locusta migratoria*), larver af melskrubbe (*Tenebrio molitor*), husfårekyl-ling (*Acheta domestica*), hønseribille larve også kendt som lille melorm (*Alphitobius diaperinus-larve*). Disse er dog dækket af databeskyttelse, således at det kun er ansørgervirksomhederne, der kan markedsføre produkter fra disse. Grundet uklarhed har visse insekter været markedsført i EU før. Januar 2018. I 2020 blev der indført en overgangsordning, indtil en egentlig godkendelse er effektueret. Følgende hele insekter under godkendelse eller godkendt i EU: Larve af melorm (*Tenebrio molitor*), Græshoppe (*Locusta migratoria*), Almindelig fårekyl-ling (*Acheta domestica*), Larve af buffaloom (*Alphitobius diaperinus*), Larve af black soldier fly (*Hermetia illucens*) og Bilarver (*Apis mellifera*) dronelarver (EC approval insects, novel food), hvoraf lille melorm (*Alphitobius diaperinus-larve*) (EC 2023/58 2023) og delvis affedt almindelig fårekyl-ling (*Acheta domestica*) (EC 2023/5 2023) for nyligt er blevet godkendte. Af disse insektarter er der stor-skala produktion i EU af sort soldaterflue og melorme. Produktion af fårekyl-linger og græshopper er markant anderledes og mere besværligt end den effektive larveproduktion, og derfor antages fårekyl-linger og græshopper i mindre omfang at anvendes til humant konsum. I detailbutikker forhandles typisk hele melorme eller melormemel som råvarer eller som ingredienser i forædlede fødevarer. Sorte soldaterfluelarver er endnu ikke normale i detailbutikker. Generelt for insektarterne gælder deres umami smag efter tilberedning, hvilket gør deres anvendelse i madlavning interessant.

De to melormearters indhold af næringsstoffer er næsten ens, dog med højere fedtindhold (27 % i tørstof) og lavere proteinindhold (56 % i tørstof) for almindelig melorm end for lille melorm (hhv. 22 og 60 % i tørstof). Sort soldaterflue larver indeholder mere fedt (34 % i tørstof) og mindre protein (43 % i tørstof) end melormene. Kitin udgør 4-5 % af tørstof (van der Heide et al. 2021c), og er svært nedbrydelige kvælstofholdige kulhydrater i insekters ydre skelet, og antages at have sundhedsfremmende egenskaber (van der Heide et al. 2021b), som kan fremme anvendelsen og værdien af insekter som fødevarer eller kosttilskud.

Proteinkvaliteten påvirkes sandsynligvis negativt af kitinfraktionen, da kitin reducerer proteinfordøjeligheden samt indeholder ikke-protein kvælstof. Ved DIAAS evaluering af proteinkvaliteten opnår lille og almindelig melorm, hus- og stribet fårekyl-ling samt sort soldaterfluelarver generelt lave scorer grundet dels relativt

lave fordøjeligheder, samt deres lave indhold af særligt methionin, cystein og tryptofan i forhold til menneskets aminosyrebehov (Malla et al. 2022). Proteinkvaliteten af lille melorm er fundet til at være uvæsentligt påvirket af gængse industrielle processerings/tøringsmetoder (Jensen et al. 2019).

Restproduktet fra insektproduktionen kaldes frass og er ekskrementer, døde larver (max 3 %), foderrester og evt. exoskeletter (EC 2021/1925 2021). Frass tænkes anvendt som gødning eller i biogas. Gødningsværdien af frass fra sort soldaterfluelarver fodret husholdningsaffald er fundet tilsvarende andre husdyrgødnings og indholdet af tungmetaller er indenfor EU's grænseværdier (Gligorescu et al. 2022). Det skal dog bemærkes, at det på nuværende tidspunkt ikke er tilladt at anvende organisk affald til produktion af insekter.

### Teknologiens modenhed

Der findes international, herunder EU, storskala produktion af melorme og sort soldaterflue larver til fødevarer og foder. I Danmark findes mange småskala produktioner af melorme, som sælges til humant konsum eller pet food. Der findes enkelte danske producenter af sort soldaterfluelarver, hvoraf Enorm Biofactory har fået stor bevågenhed grundet opførelsen af Skandinaviens første industrielle insektfabrik.

Det vurderes at efterspørgslen er større end udbuddet, hvilket understøttes af høje priser på insekter i forhold til traditionelle produkter med tilsvarende næringsstofindhold.

Biologien og dermed produktionsforholdene for insekter er markant forskellige og dermed skal udvikling af værdikæderne for f.eks. melorme og sort soldaterflue ligeledes løftes specifikt for den enkelte produktion (Heckmann et al. 2019). Den spirende insektindustri er kendetegnet ved, at der endnu ikke er standardiserede produktionssystemer og kun lidt kommercielt tilgængeligt produktionsudstyr, hvormed den enkelte producent selv skal udvikle produktionen, produktforarbejdningen og markedet til afsætning. Flere R&D projekter om melorme og især sort soldaterflueproduktion har gennem støtte fra f.eks. GUDP og Innovationsfonden, arbejdet med mulige teknologier og løsninger i mindre eller større dele af værdikæden, og der er dermed en del dansk-baseret viden til rådighed for branchen. Gennem samarbejde i særligt Dansk Insektnetværk koordineret af Food and Bio Cluster Denmark, forsøges vidensdeling mellem forskelligartede interessenter.

Regulatorisk er insektproduktionen også præget af at være en ung industri. For eksempel er der uklare rammer for etablering af produktionsfaciliteter, uklarhed om gødnings/frass håndtering og økologificering og generelt en begrænsende EU-regulering af mulige fodersubstrater og produktforarbejdning. Landbrugsstyrelsen og Fødevarestyrelsen har et konstruktivt engagement i branchen, men ændringer i særligt EU-foderregulativ og føde-varelovgivning er ressourcekrævende.

## Produktionspotentiale DK

Når der er udviklet tilstrækkeligt effektive produktionssystemer, må det antages at den væsentligste begrænsende faktor for insektproduktionens størrelse, vil være adgangen til biomasser som fodersubstrat. Hertil kommer eventuelle lokale og nationale miljø- og byggereguleringer, som til svarer vilkårene for andet landbrug og industri.

## Eksportpotentiale

Der vurderes at der ikke er nogen øvre grænse for eksport af insekter fra Danmark. Den forventede stigende befolkning og deraf kommende efterspørgsel på fødevarer, er den drivende kraft bag insektproduktionen som alternativ fødevarer til især kød. Insekter indgår i den daglige ernæring hos 2,5 mia. mennesker og det antages, at insekter snart bliver generelt accepteret af den vestlige forbruger som kilde til særligt protein (ipiff.org). Det vurderes af den internationale insektproducent organisation IPIFF, at der i EU pt. er investeret 1,5 mia. EUR i insektproducerende virksomheder, og at de i år 2030 direkte vil beskæftige 30.000 personer. I USA og Canada er interessen for insekter ligeledes stigende, og som i EU etableres der i disse år flere insektfabrikker.

## Klima- og miljøeffekter

De anvendte fodersubstrater vil have afgørende indflydelse på bæredygtigheden af insektproduktionen. Produktionen er reguleret således, at foderet skal være EU-godkendte fodermidler, dvs. i praksis almindelige fodermidler anvendt til svin og fjerkræ. Da der ikke er nogen standarder for fodersammensætning, vil CO<sub>2</sub>-aftrykket skulle vurderes fra produktion til produktion afhængigt af de anvendte fodersubstrater. Potentialet for et lavt CO<sub>2</sub>-aftryk pr kg produceret insektprotein er dog stort, såfremt passende fodersubstrat anvendes, hvilket i visse tilfælde (f.eks. husholdningsaffald, husdyrgødning og slagteriaffald) kræver en ændring i EU-lovgivningen.

Emissionerne fra insektproduktionen er ukendte, og tilsvarende øvrige husdyrproduktioner, vil N, P og K udledninger afhænge af foderets næringsstofudnyttelse og ammoniak-emissioner fra produktionsfaciliteten og gødningshåndtering. Hertil kan komme en udledning af metan fra larvernes omsætning og gødning. Disse er ikke kvantificerede.

## Barrierer

Opskalering til en omkostningseffektiv industriel produktion er vanskelig. Der er ikke standarder for produktionsfaciliteter og management og der er ikke organiserede værdikæder som sikrer f.eks. foderleverancer, forarbejdning og afsætning.

Tilgængelighed af fodersubstrater er vanskeliggjort grundet konkurrence fra biogas, og de bæredygtige biomasser må derfor erstattes af traditionelle og dyre husdyrfodermidler. Insekter er reguleret som landbrugsdyr og skal fodres med foder underlagt EU's foderstoflovning. Dette gør brugen af ellers oplagte ressourcer, som f.eks. tidligere fødevarer, husholdningsaffald og husdyrgødning forbudt. Lempelse af foderforbud vil være væsentlig for en bæredygtig insektproduktion.

Lovgivningen omkring novel food (EC 2015/2283 2015) vanskeliggør produktudvikling af nye fødevarer med insekter gennem fraktionering, hvor f.eks. den relativ store fedtfraktion fra melorm og sort soldaterflue larver ikke kan separeres fra proteinfraktionen, eller græshoppernes vinger ikke kan fjernes uden nye godkendelser.

## Kilder

- EC 2015/2283 (2015). <http://data.europa.eu/eli/reg/2015/2283/oj>
- EC 2021/1925 (2021). <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1925/oj>
- EC 2023/5 (2023). <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/5/oj> EC 2023/58 (2023). <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/58/oj>
- europa.eu. [https://food.ec.europa.eu/safety/novel-food/authorisations/approval-insect-novel-food\\_en](https://food.ec.europa.eu/safety/novel-food/authorisations/approval-insect-novel-food_en)
- Gligorescu et al. (2022). <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100546>
- Heckmann et al. (2019). <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0009>
- ipiff.org. <https://ipiff.org/>
- Jensen et al. (2019). <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0048>
- Malla et al. (2022). <https://doi.org/10.1093/jn/nxac019>
- van der Heide et al. (2021c). <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0150>
- van der Heide et al. (2021b). <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/2303>

## 6 Referencer

- Afrose, S., M. Hammershøj, J. V. Nørgaard, R. M. Engberg and S. Steinfeldt (2016). "Influence of blue mussel (*Mytilus edulis*) and starfish (*Asterias rubens*) meals on production performance, egg quality and apparent total tract digestibility of nutrients of laying hens." *Animal Feed Science and Technology* **213**: 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.01.008>
- AGRO Projects. (2022). "Modern mushroom farms." Hentet 27.12.2022, fra [https://www.agro-projects.eu/offer/mushroom-industry/modern-mushroom-farms/#pll\\_switcher](https://www.agro-projects.eu/offer/mushroom-industry/modern-mushroom-farms/#pll_switcher).
- Ahmad, M. I., S. Farooq, Y. Alhamoud, C. Li and H. Zhang (2022). "A review on mycoprotein: History, nutritional composition, production methods, and health benefits." *Trends in Food Science & Technology* **121**: 14-29. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.027>
- Aleksandrowicz, L., R. Green, E. J. Joy, P. Smith and A. Haines (2016). "The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: a systematic review." *PloS one* **11**(11): e0165797.
- alephfarms.medium.com. (2021). "Aleph Farms and The Technion Reveal World's First Cultivated Ribeye Steak." Hentet 23.02.2023, fra <https://alephfarms.medium.com/aleph-farms-and-the-technion-reveal-worlds-first-cultivated-ribeye-steak-465168a435a1>.
- Alexander, P., C. Brown, A. Arneith, J. Finnigan and M. D. A. Rounsevell (2016). "Human appropriation of land for food: The role of diet." *Global Environmental Change* **41**: 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.09.005>
- Alpiger, S. and M. Corredig (2022). "Changes in the Physicochemical Properties of Rapeseed-derived Protein Complexes During Enzyme-Assisted Wet Milling." *Sustainable food proteins* **Preprint**. 10.22541/au.166786941.10286887/v1
- altomkost.dk. (2022). "Protein." fra <https://altomkost.dk/fakta/kort-om-naeringsstoffer/protein>.
- Amer, B., L. Juul, A. H. Møller, H. S. Møller and T. K. Dalsgaard (2021). "Improved solubility of proteins from white and red clover – inhibition of redox enzymes." *International Journal of Food Science & Technology* **56**(1): 302-311. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14632>
- Amin, A., I. L. Petersen, C. Malmberg and V. Orlien (2022). "Perspective on the Effect of Protein Extraction Method on the Antinutritional Factor (ANF) Content in Seeds." *ACS Food Science & Technology* **2**(4): 604-612. 10.1021/acfoodscitech.1c00464
- Andreassen, R. C. (2022). *Sustainable bioproduction of animal proteins for human consumption and optimizing the use of protein rich by-products from the food industry* PhD-Thesis, University of Oslo. <http://urn.nb.no/URN:NBN:no-93640>
- Andreassen, R. C., S. B. Rønning, N. T. Solberg, K. G. Grønlien, K. A. Kristoffersen, V. Høst, S. O. Kolset and M. E. Pedersen (2022). "Production of food-grade microcarriers based on by-products from the food industry to facilitate the expansion of bovine skeletal muscle satellite cells for cultured meat production." *Biomaterials* **286**: 121602. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2022.121602>
- Angell, A. R., L. Mata, R. de Nys and N. A. Paul (2016). "The protein content of seaweeds: a universal nitrogen-to-protein conversion factor of five." *Journal of Applied Phycology* **28**(1): 511-524. 10.1007/s10811-015-0650-1
- Anupama and P. Ravindra (2000). "Value-added food: single cell protein." *Biotechnol Adv* **18**(6): 459-479. 10.1016/s0734-9750(00)00045-8
- Araújo, R., F. Vázquez Calderón, J. Sánchez López, I. C. Azevedo, A. Bruhn, S. Fluch, M. Garcia Tasende, F. Ghaderiardakani, T. Ilmjärv, M. Laurans, M. Mac Monagail, S. Mangini, C. Peteiro, C. Rebours, T. Stefansson and J. Ullmann (2021). "Current status of the algae production industry in Europe: An emerging sector of the blue bioeconomy." *Frontiers in Marine Science* **7**. 10.3389/fmars.2020.626389
- Ariëns, R. M. C., S. Bastiaan-Net, D. B. P. M. van de Berg-Somhorst, K. El Bachrioui, A. Boudewijn, R. T. M. van den Dool, G. A. H. de Jong, H. J. Wichers and J. J. Mes (2021). "Comparing nutritional and digestibility aspects of sustainable proteins using the INFOGEST digestion protocol." *Journal of Functional Foods* **87**: 104748. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104748>
- ArlaPro. (2019). "Vallens historie." Hentet 16.01.2023, fra <https://www.arlapro.com/da/inspiration/vallens-historie/>.
- AU CellFood hub boosts development of cellular foods. Hentet 23.02.2023, fra <https://food.au.dk/cellfood-hub>.

- Bailey, H. M., J. K. Mathai, E. P. Berg and H. H. Stein (2020). "Most meat products have digestible indispensable amino acid scores that are greater than 100, but processing may increase or reduce protein quality." *British Journal of Nutrition* **124**(1): 14-22. [10.1017/S0007114520000641](https://doi.org/10.1017/S0007114520000641)
- Bailey, S. (2021). The amino acid digestibility and digestible indispensable amino acid score for rapeseed protein isolate increases after moderate heating resulting in a protein quality similar to whey protein isolate. <https://nutrition.ansci.illinois.edu/node/1787>
- Bak, U. G., C. W. Nielsen, G. S. Marinho, Ó. Gregersen, R. Jónsdóttir and S. L. Holdt (2019). "The seasonal variation in nitrogen, amino acid, protein and nitrogen-to-protein conversion factors of commercially cultivated Faroese *Saccharina latissima*." *Algal Research* **42**: 101576. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101576>
- Becker, E. W. (2007). "Micro-algae as a source of protein." *Biotechnology Advances* **25**(2): 207-210. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>
- Ben-Arye, T., Y. Shandalov, S. Ben-Shaul, S. Landau, Y. Zagury, I. Ianovici, N. Lavon and S. Levenberg (2020). "Textured soy protein scaffolds enable the generation of three-dimensional bovine skeletal muscle tissue for cell-based meat." *Nature Food* **1**(4): 210-220. [10.1038/s43016-020-0046-5](https://doi.org/10.1038/s43016-020-0046-5)
- Björnsdóttir, E., M. Nadziejka, W. Chang, L. Escobar-Herrera, D. Mancinotti, D. Angra, X. Xia, R. Tacke, H. Khazaei, C. Crocoll, A. Vandenberg, W. Link, F. L. Stoddard, D. M. O'Sullivan, J. Stougaard, A. H. Schulman, S. U. Andersen and F. Geu-Flores (2021). "VC1 catalyses a key step in the biosynthesis of vicine in faba bean." *Nature Plants* **7**(7): 923-931. [10.1038/s41477-021-00950-w](https://doi.org/10.1038/s41477-021-00950-w)
- Blå Biomasse og Hedeselskabet (2022). Muslingeopdræt - En vision for havets eget renselanlæg. <https://www.hedeselskabet.dk/sites/hedeselskabet.dk/files/2021-03/Hedeselskabets%20vision%20for%20muslingeopdr%C3%A6t%20i%20Danmark.pdf>
- Borderskov, T., M. M. Nielsen, M. B. Rasmussen, T. J. S. Balsby, A. Macleod, S. L. Holdt, J. J. Sloth and A. Bruhn (2021). "Effects of seeding method, timing and site selection on the production and quality of sugar kelp, *Saccharina latissima*: A Danish case study." *Algal Research* **53**: 102160. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102160>
- Boye, J. I., S. Aksay, S. Roufik, S. Ribéreau, M. Mondor, E. Farnworth and S. H. Rajamohamed (2010). "Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques." *Food Research International* **43**(2): 537-546. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.021>
- Bresson, J., F. Albert, H. Marina, H. Karin, K. Hannu and L. Pagona (2009). "Scientific opinion of the panel on dietetic products nutrition and allergies on a request from the European Commission on the safety of 'Alfalfa protein concentrate' as food." *The EFSA Journal* **7**(4): 1-19. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.997>
- Bruhn, A., M. R. Flindt, B. Hasler, D. Krause-Jensen, M. M. Larsen, M. Maar, J. K. Petersen and K. Timmermann (2020a). Marine virkemidler - beskrivelse af virkemidlernes effekter og status for vidensgrundlag. DCE - Nationalt center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet. <https://dce2.au.dk/pub/SR368.pdf>
- Bruhn, A., M. B. Rasmussen and M. Thomsen (2020b). Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat - status og viden om miljøeffekter og økonomi. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet\\_2020/N2020\\_20.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_20.pdf)
- Bruhn, A., M. B. Rasmussen and M. Thomsen (2020c). Høst af eutrofieringsbetingede masseforekomster af søsalat - status på viden om miljøeffekter og økonomi. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt center for Miljø og Energi.
- Caporgno, M. P. and A. Mathys (2018). "Trends in Microalgae Incorporation Into Innovative Food Products With Potential Health Benefits." *Front Nutr* **5**: 58. [10.3389/fnut.2018.00058](https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00058)
- Chai, K. F., K. R. Ng, M. Samarasiri and W. N. Chen (2022). "Precision fermentation to advance fungal food fermentations." *Current Opinion in Food Science* **47**: 100881. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100881>
- Chmielewska, A., M. Kozłowska, D. Rachwał, P. Wnukowski, R. Amarowicz, E. Nebesny and J. Rosicka-Kaczmarek (2021). "Canola/rapeseed protein - nutritional value, functionality and food application: a review." *Crit Rev Food Sci Nutr* **61**(22): 3836-3856. [10.1080/10408398.2020.1809342](https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1809342)
- Chopin, T. and A. G. J. Tacon (2021). "Importance of Seaweeds and Extractive Species in Global Aquaculture Production." *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* **29**(2): 139-148. [10.1080/23308249.2020.1810626](https://doi.org/10.1080/23308249.2020.1810626)
- Christensen, L. B. (2022). Personlig meddelelse, mail af 08.11.2022. Kartoffelprotein - hvordan ser det ud i dag? .
- Clark, A. J., B. K. Soni, B. Sharkey, T. Acree, E. Lavin, H. M. Bailey, H. H. Stein, A. Han, M. Elie and M. Nadal (2022). "Shiitake mycelium fermentation improves digestibility, nutritional value, flavor and functionality of plant proteins." *LWT* **156**: 113065. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.113065>

CleanMeat and CleanMilk – future sustainable food production. fra [https://pure.au.dk/portal/en/projects/cleanmeat-and-cleanmilk--future-sustainable-food-production\(8b8fe376-e2dc-4bbb-a9bf-21ff1ee4c5f4\).html](https://pure.au.dk/portal/en/projects/cleanmeat-and-cleanmilk--future-sustainable-food-production(8b8fe376-e2dc-4bbb-a9bf-21ff1ee4c5f4).html).

Composition of "CleanMilk" from in vitro grown milk cells. fra [https://pure.au.dk/portal/en/projects/sammensaetning-af-cleanmilk-fra-in-vitro-kultiverede-maelkeceller\(74794c32-bfcb-4047-81bf-336a78bf90f7\).html](https://pure.au.dk/portal/en/projects/sammensaetning-af-cleanmilk-fra-in-vitro-kultiverede-maelkeceller(74794c32-bfcb-4047-81bf-336a78bf90f7).html).

Coop analyse (2020). Coops grønne forbrugerindex. Coops mad-O-meter. Coops mad-O-meter. <https://www.madometer.dk/consumerindex?year=2020>

Coop analyse (2022a). Coops Mad-o-meter 2021/22. <https://coopanalyse.dk/media/2077/coop-mad-o-meter-2022-long.pdf>

Coop analyse. (2022b). "Hver fjerde vælger kød fra på grund af prisen." Hentet 02.01.2023, fra [https://coopanalyse.dk/analyse/02\\_9999\\_22-vegetar/](https://coopanalyse.dk/analyse/02_9999_22-vegetar/).

Coop analyse. (2022c). "Økologiens Danmarks kort." fra <https://www.madometer.dk/ecomap>.

Corredig, M., N. Young and T. K. Dalsgaard (2020). "Food proteins: processing solutions and challenges." Current Opinion in Food Science **35**: 49-53. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.010>

cowfreeprotein.dk. Hentet 23.02.2023, fra <https://www.cowfreeprotein.dk/>.

Cunha Zied, D., J. E. Sánchez, R. Noble and A. Pardo-Giménez (2020) "Use of Spent Mushroom Substrate in New Mushroom Crops to Promote the Transition towards A Circular Economy." Agronomy **10** DOI: 10.3390/agronomy10091239.

Dabbour, I. R. and H. R. Takruri (2002). "Protein digestibility using corrected amino acid score method (PDCAAS) of four types of mushrooms grown in Jordan." Plant Foods Hum Nutr **57**(1): 13-24. 10.1023/a:1013110707567

Dairy proteins and future alternatives. fra [https://pure.au.dk/portal/en/projects/dairy-proteins-and-future-alternatives\(c754d19a-43ff-4e29-9467-bf325beed01e\).html](https://pure.au.dk/portal/en/projects/dairy-proteins-and-future-alternatives(c754d19a-43ff-4e29-9467-bf325beed01e).html).

Damvad Analytics (2020). Fødevarer- og Ingrediensbranchen i Danmark. [https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/International%20koordination/Ingrediens/Damvad%20rapport\\_ingrediensbranchen.pdf](https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/International%20koordination/Ingrediens/Damvad%20rapport_ingrediensbranchen.pdf)

Danmarks statistik (2022a). Detailomsætningen af økologiske fødevarer efter enhed, varer og tid. <https://www.statistikbanken.dk/OEKO3>

Danmarks statistik (2022b). FISK3. D. statistik. <https://www.statistikbanken.dk/20207>

Danmarks statistik (2022c). FODER1. Danmarks statistik. Statistikbanken.dk. <https://www.statistikbanken.dk/RAAV>

Danmarks statistik (2022d). FOLK1A. Danmarks statistik. Statistikbanken.dk. <https://www.statistikbanken.dk/RAAV>

Danmarks statistik (2022e). HST77. Danmarks statistik. Statistikbanken.dk. <https://www.statistikbanken.dk/hst77>

Danmarks statistik (2022f). KN8Y. Danmarks statistik. Statistikbanken.dk. <https://www.statistikbanken.dk/KN8Y>

Dansk Industri. (2022). "Ingrediensbranchen i Danmark." Hentet 17.01.2023, fra <https://www.danskindustri.dk/brancher/di-foedevarer/medlemsservice/sektioner/ingrediensforum/hvem-er-ingrediensbranchen/foedevareingrediensbranchen-i-dk/>.

danskekartofler.dk. "Spis klimavenligt med KlimaKartofflen." Hentet 23.02.2023, fra <http://danskekartofler.dk/DK/Forbruger/KlimaKartofflen.aspx>.

Day, L. (2013). "Proteins from land plants – Potential resources for human nutrition and food security." Trends in Food Science & Technology **32**(1): 25-42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.005>

De Bhowmick, G. and M. Hayes (2022) "In Vitro Protein Digestibility of Selected Seaweeds." Foods **11** DOI: 10.3390/foods11030289.

del Mar Contreras, M., A. Lama-Muñoz, J. M. Romero-García, M. García-Vargas, I. Romero and E. Castro (2021). Production of renewable products from brewery spent grains. Waste Biorefinery, Elsevier: 305-347. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821879-2.00011-9>

Dimopoulou, M., A. Kolonas, S. Mourtakos, O. Androutsos and O. Gortzi (2022) "Nutritional Composition and Biological Properties of Sixteen Edible Mushroom Species." Applied Sciences **12** DOI: 10.3390/app12168074.

Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries (2022). Communication from the Commission: Towards a strong and sustainable EU algae sector. [https://oceans-and-fisheries.ec.europa.eu/system/files/2022-11/swd-2022-361\\_en.pdf](https://oceans-and-fisheries.ec.europa.eu/system/files/2022-11/swd-2022-361_en.pdf)

dr.dk. (2006). "Snart slut med danske champignon." Hentet 27.12.2022, fra <https://www.dr.dk/nyheder/penge/snart-slut-med-danske-champignon>.

- EC 2015/2283. (2015). "Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2015 on novel foods, amending Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council and repealing Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council and Commission Regulation (EC) No 1852/2001." <http://data.europa.eu/eli/reg/2015/2283/oj>.
- EC 2021/1925 (2021). "Commission Regulation (EU) 2021/1925 of 5 November 2021 amending certain Annexes to Regulation (EU) No 142/2011 as regards the requirements for placing on the market of certain insect products and the adaptation of a containment method." <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1925/oj>
- EC 2023/5 (2023). "Commission Implementing Regulation (EU) 2023/5 of 3 January 2023 authorising the placing on the market of Acheta domesticus (house cricket) partially defatted powder as a novel food and amending Implementing Regulation (EU) 2017/2470." <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/5/oj>
- EC 2023/58 (2023). "Commission Implementing Regulation (EU) 2023/58 of 5 January 2023. Authorising the placing on the market of the frozen, paste, dried and powder forms of Alphitobius diaperinus larvae (lesser mealworm) as a novel food and amending Implementing Regulation (EU) 2017/2470." <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/58/oj>
- Europa-kommissionen (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Farm to Fork strategy - for a fair, healthy and environmentally-friendly food system. Brussels.
- Europa-kommissionen (2022). Kommissionens henstilling (EU) 2022/561 af 6. april 2022 om overvågning af forekomsten af glycoalkaloider i kartofler og produkter afledt af kartofler, <https://www.foedevarestyrelsen.dk/SiteCollectionDocuments/Kemi%20og%20foedevarekvalitet/Kemisk%20forureninger/Henstilling%20-%20Glycoalkaloider.pdf>
- European-kommissionen (2018). Report from the commission to the council and the European Parliament - on the development of plant protein in the European Union. Brussels, European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0757&from=EN>
- EverGrain (2021). GRAS Notice for Barley Rice Protein. <https://fda.report/media/157967/GRAS-Notice-GRN-1031-Barley-Rice-Protein.pdf>
- Exploring Danish-Chinese collaboration for sustainable cellular milk production. [https://pure.au.dk/portal/en/projects/exploring-danishchinese-collaboration-for-sustainable-cellular-milk-production\(c4f2d2b3-86fb-4dc8-897c-74a5a929f76d\).html](https://pure.au.dk/portal/en/projects/exploring-danishchinese-collaboration-for-sustainable-cellular-milk-production(c4f2d2b3-86fb-4dc8-897c-74a5a929f76d).html)
- Fagt, S., M. Langwagen and A. Biltoft-Jensen (2023) "Mere bæredygtighed i hverdagen? Det går langsomt med at købe mere grønt og mindre kød og mælk." <https://www.food.dtu.dk/publikationer>.
- FAO (2018). "The global status of seaweed production, trade and utilization." Globefish Research Programme 124.
- FAO (2021). Global seaweeds and microalgae production, 1950-2019. <https://www.fao.org/3/cb4579en/cb4579en.pdf>
- FAO report (2011). Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation. <https://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf>
- FAOSTAT (2022a). Annual population: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. T. F. a. A. O. o. t. U. Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/OA>
- FAOSTAT. (2022b). "Crops and livestock products. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO." fra <https://www.fao.org/contact-us/terms/db-terms-of-use/en/>.
- FAOSTAT (2022c). Food Balances. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. T. F. a. A. O. o. t. U. Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FBSH>
- Ferreira, I. C. F. R., Â. Fernandes and S. A. Heleno (2017). Chemical, Nutritional, and Bioactive Potential of Mushrooms. Edible and Medicinal Mushrooms: 455-501. <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch21>
- Fetzer, A., T. Herfellner, A. Stäbler, M. Menner and P. Eisner (2018). "Influence of process conditions during aqueous protein extraction upon yield from pre-pressed and cold-pressed rapeseed press cake." Industrial Crops and Products 112: 236-246. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.011>
- Fleurence, J., M. Morançais and J. Dumay (2018). 9 - Seaweed proteins. Proteins in Food Processing (Second Edition). R. Y. Yada, Woodhead Publishing: 245-262. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00010-3>
- Foreningen Muslingeerhvervet. (2022). "Sunde og bæredygtige skaldyr direkte fra fjorden til dit middagsbord." fra [https://www.sebrochure.dk/foreningen\\_muslingeerhvervet/WebView/](https://www.sebrochure.dk/foreningen_muslingeerhvervet/WebView/)
- Fresán, U. and J. Sabaté (2019). "Vegetarian Diets: Planetary Health and Its Alignment with Human Health." Adv Nutr 10(Suppl\_4): S380-s388. 10.1093/advances/nmz019



- Froehlich, H. E., J. C. Afflerbach, M. Frazier and B. S. Halpern (2019). "Blue Growth Potential to Mitigate Climate Change through Seaweed Offsetting." *Current Biology* **29**(18): 3087-3093.e3083. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.07.041>
- Fu, Y., J. Liu, E. T. Hansen, W. L. P. Bredie and R. Lametsch (2018). "Structural characteristics of low bitter and high umami protein hydrolysates prepared from bovine muscle and porcine plasma." *Food Chem* **257**: 163-171. [10.1016/j.foodchem.2018.02.159](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.159)
- Fu, Y., J. F. Young, T. K. Dalsgaard and M. Therkildsen (2015). "Separation of angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides from bovine connective tissue and their stability towards temperature, pH and digestive enzymes." *International Journal of Food Science & Technology* **50**(5): 1234-1243. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12771>
- Fu, Y., J. F. Young, M. M. Løkke, R. Lametsch, R. E. Aluko and M. Therkildsen (2016). "Revalorisation of bovine collagen as a potential precursor of angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptides based on in silico and in vitro protein digestions." *Journal of Functional Foods* **24**: 196-206. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.03.026>
- Fødevareministeriet. (2022). "De Officielle Kostråd." Hentet 29.12.2022, fra <https://fvm.dk/foedevareer/mad-maaltider-og-sundhed/de-officielle-kostraad/>.
- Fødevarestyrelsen. (2021). "Fødevarekvalitet." Hentet 29.12.2022, fra <https://www.foedevarestyrelsen.dk/Leksikon/>.
- Fødevarewatch. (2018). "Stort champignongartneri lukker – alle medarbejdere mister jobbet." Hentet 27.12.2022, fra <https://fodevarewatch.dk/Fodevarer/article10588520.ece>.
- Geurts-champignons.nl. (2022). "The cultivation process." Hentet 27.12.2022, fra <https://geurts-champignons.nl/en/the-cultivation/>.
- GFI (2021a). Fermentation State of the Industry Report. [https://gfi.org/wp-content/uploads/2022/04/Executive-summary\\_Fermentation\\_2021-State-of-the-Industry-Report.pdf](https://gfi.org/wp-content/uploads/2022/04/Executive-summary_Fermentation_2021-State-of-the-Industry-Report.pdf)
- GFI. (2021b). "State of the industry report. Cultured meat and seafood. ." fra <https://gfi.org/resource/cultivated-meat-eggs-and-dairy-state-of-the-industry-report/>.
- GFI. (2022a). "Fermentation." Hentet 30.01.2023, fra <https://gfi.org/fermentation/>.
- GFI. (2022b). "The science of fermentation." Hentet 30.01.2023, fra <https://gfi.org/science/the-science-of-fermentation/>.
- Gilani, G. S., C. Wu Xiao and K. A. Cockell (2012). "Impact of antinutritional factors in food proteins on the digestibility of protein and the bioavailability of amino acids and on protein quality." *Br J Nutr* **108 Suppl 2**: S315-332. [10.1017/s0007114512002371](https://doi.org/10.1017/s0007114512002371)
- Gligorescu, A., L. I. Macavei, B. F. Larsen, R. Markfoged, C. H. Fischer, J. D. Koch, K. Jensen, L.-H. Lau Heckmann, J. V. Nørgaard and L. Maistrello (2022). "Pilot scale production of *Hermetia illucens* (L.) larvae and frass using former foodstuffs." *Cleaner Engineering and Technology* **10**: 100546. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100546>
- González, A., M. Cruz, C. Losoya, C. Nobre, A. Loredó, R. Rodríguez, J. Contreras and R. Belmares (2020). "Edible mushrooms as a novel protein source for functional foods." *Food & Function* **11**(9): 7400-7414. [10.1039/D0FO01746A](https://doi.org/10.1039/D0FO01746A)
- González, A., C. Nobre, L. S. Simões, M. Cruz, A. Loredó, R. M. Rodríguez-Jasso, J. Contreras, J. Texeira and R. Belmares (2021). "Evaluation of functional and nutritional potential of a protein concentrate from *Pleurotus ostreatus* mushroom." *Food Chemistry* **346**: 128884. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128884>
- GUDP. (2020). "Svampe skal lave værdifuldt protein til maden af roepulp." Hentet 22.12.2022, fra <https://gudp.lbst.dk/nyheder/nyhed/nyhed/svampe-skal-lave-vaerdifuldt-protein-til-maden-af-roepulp/>.
- Guillin, F. M., C. Gaudichon, L. Guérin-Deremaux, C. Lefranc-Millot, G. Airinei, N. Khodorova, R. Benamouzig, P.-H. Pomport, J. Martin and J. Calvez (2022). "Real ileal amino acid digestibility of pea protein compared to casein in healthy humans: a randomized trial." *The American Journal of Clinical Nutrition* **115**(2): 353-363. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqab354>
- Gylling, M. (2020). Proteinproduktion i Danmark. Notat vedrørende oplysninger til besvarelse af spørgsmål 1463 fra Miljø- og Fødevareudvalget stillet til ministeren for fødevarer, fiskeri og ligestilling, Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet.
- Gylling, M. and J. E. Hermansen (2018). Kvantificering af forventede fremtidige proteinmarkeder og kortlægning af potentialer i forskellige nye proteinkilder.

- Hafting, J. T., A. T. Critchley, M. L. Cornish, S. A. Hubley and A. F. Archibald (2012). "On-land cultivation of functional seaweed products for human usage." *Journal of Applied Phycology* **24**(3): 385-392. 10.1007/s10811-011-9720-1
- Han, F., P. J. Moughan, J. Li and S. Pang (2020). "Digestible Indispensable Amino Acid Scores (DIAAS) of Six Cooked Chinese Pulses." *Nutrients* **12**(12). 10.3390/nu12123831
- Hansen, J. Ø., A. Skrede, L. T. Mydland and M. Øverland (2017). "Fractionation of rapeseed meal by milling, sieving and air classification—Effect on crude protein, amino acids and fiber content and digestibility." *Animal Feed Science and Technology* **230**: 143-153. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.05.007>
- Harrysson, H., M. Hayes, F. Eimer, N.-G. Carlsson, G. B. Toth and I. Undeland (2018). "Production of protein extracts from Swedish red, green, and brown seaweeds, *Porphyra umbilicalis* Kützinger, *Ulva lactuca* Linnaeus, and *Saccharina latissima* (Linnaeus) JV Lamouroux using three different methods." *Journal of applied phycology* **30**(6): 3565-3580. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1481-7>
- Heckmann, L.-H., J. Andersen, J. Eilenberg, J. Fynbo, R. Miklos, A. N. Jensen, J. Nørgaard and N. Roos (2019). "A case report on inVALUABLE: insect value chain in a circular bioeconomy." *Journal of Insects as Food and Feed* **5**(1): 9-13. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0009>
- Heddam, L. (2020) "Kom med på besøg på svampefarmen, hvor det altid er højsæson." <https://samvirke.dk/artikler/kom-med-paa-besoeg-paa-svampefarmen-hvor-det-altid-er-hoejsaeson#:~:text=Der%20findes%20tre%20champignon%2Dproducenter.at%20svampe%20vokser%20i%20ort.>
- Hermansen, J. E., U. Jørgensen, P. E. Lærke, K. Manevski, B. Boelt, S. K. Jensen, M. R. Weisbjerg, T. K. Dalsgaard, M. Danielsen and T. Asp (2017). *Green biomass-protein production through bio-refining*, DCA-Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug.
- Herreman, L., P. Nommensen, B. Pennings and M. C. Laus (2020). "Comprehensive overview of the quality of plant-And animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score." *Food Science & Nutrition* **8**(10): 5379-5391. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1809>
- Hettinga, K. and E. Bijl (2022). "Can recombinant milk proteins replace those produced by animals?" *Current Opinion in Biotechnology* **75**: 102690. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2022.102690>
- Hillreiner, M., N. I. Müller, H. M. Koch, C. Schmutz, B. Küster, M. W. Pfaffl and H. Kliem (2017). "Establishment of a 3D cell culture model of primary bovine mammary epithelial cells extracted from fresh milk." *In Vitro Cell Dev Biol Anim* **53**(8): 706-720. 10.1007/s11626-017-0169-7
- Hoffmann, S. (2022). "Danish potato protein to improve plant-based meat solutions." Hentet 08.02.2023, fra <https://www.kmc.dk/news-and-knowledge/danish-potato-protein-to-improve-plant-based-meat-solutions>.
- Holdt, S. L. and S. Kraan (2011). "Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation." *Journal of applied phycology* **23**(3): 543-597. <http://dx.doi.org/10.1007/s10811-010-9632-5>
- Holmyard, N. (2019). "Europe's mussel market growing increasingly international.", fra <https://www.seafoodsource.com/news/supply-trade/europes-mussel-market-growing-increasingly-international>
- Hou, X., J. H. Hansen and A. B. Bjerre (2015). "Integrated bioethanol and protein production from brown seaweed *Laminaria digitata*." *Bioresour Technol* **197**: 310-317. 10.1016/j.biortech.2015.08.091
- Hu, X., F. M. Kerckhof, J. Ghesquière, K. Bernaerts, P. Boeckx, P. Clauwaert and N. Boon (2020). "Microbial Protein out of Thin Air: Fixation of Nitrogen Gas by an Autotrophic Hydrogen-Oxidizing Bacterial Enrichment." *Environ Sci Technol* **54**(6): 3609-3617. 10.1021/acs.est.9b06755
- Hurd, C. L., C. S. Law, L. T. Bach, D. Britton, M. Hovenden, E. R. Paine, J. A. Raven, V. Tamsitt and P. W. Boyd (2022). "Forensic carbon accounting: Assessing the role of seaweeds for carbon sequestration." *Journal of Phycology* **58**(3): 347-363. <https://doi.org/10.1111/jpy.13249>
- IDH og IUCN NL (2019). *European soy monitor. Insights on the European supply chain and the use of responsible and deforestation-free soy in 2017*.  
 ipiff.org. Hentet 23.03.2023, fra <https://ipiff.org/>.
- Jaeger, A., E. Zannini, A. W. Sahin and E. K. Arendt (2021). "Barley Protein Properties, Extraction and Applications, with a Focus on Brewers' Spent Grain Protein." *Foods* **10**(6): 1389. <https://doi.org/10.3390/foods10061389>
- Jensen, L., R. Miklos, T. Dalsgaard, L. Heckmann and J. Nørgaard (2019). "Nutritional evaluation of common (*Tenebrio molitor*) and lesser (*Alphitobius diaperinus*) mealworms in rats and processing effect on the lesser mealworm." *Journal of Insects as Food and Feed* **5**(4): 257-266. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0048>

- Jiménez-Munoz, L., A. Brodkorb, L. G. Gómez-Mascaraque and M. Corredig (2021). "Effect of heat treatment on the digestion behavior of pea and rice protein dispersions and their blends, studied using the semi-dynamic INFOGEST digestion method." *Food & Function* **12**(18): 8747-8759. 10.1039/D1FO01223A
- Juul, L., L. Stødkilde, A. K. Ingerslev, A. Bruhn, S. K. Jensen and T. K. Dalsgaard (2022). "Digestibility of seaweed protein from *Ulva* sp. and *Saccharina latissima* in rats." *Algal Research* **63**: 102644. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102644>
- Järviö, N., N.-L. Maljanen, Y. Kobayashi, T. Ryyänen and H. L. Tuomisto (2021). "An attributional life cycle assessment of microbial protein production: A case study on using hydrogen-oxidizing bacteria." *Science of The Total Environment* **776**: 145764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145764>
- Jørgensen, U., T. Kristensen, J. R. Jørgensen, A. G. Kongsted, C. De Notaris, C. Nielsen, E. Ø. Mortensen, M. Ambye-Jensen, S. K. Jensen, L. Stødkilde-Jørgensen, T. K. Dalsgaard, A. H. Møller, C. G. Sørensen, T. Asp, F. L. Olsen and M. Gylling (2021). *Green biorefining of grassland biomasses*, Aarhus Universitet. [https://pure.au.dk/portal/files/231291207/Green biorefining of grassland biomass 1407 2021rev EX CL chapter 6.pdf](https://pure.au.dk/portal/files/231291207/Green_biorefining_of_grassland_biomass_1407_2021rev_EX_CL_chapter_6.pdf)
- kmc.dk. "Danish potato protein to improve plant-based meat solutions." Hentet 23.02.2023, fra <https://www.kmc.dk/news-and-knowledge/danish-potato-protein-to-improve-plant-based-meat-solutions>.
- Kristensen, H. T., A. H. Møller, M. Christensen, M. S. Hansen, M. Hammershøj and T. K. Dalsgaard (2020). "Co-precipitation of whey and pea protein – indication of interactions." *International Journal of Food Science & Technology* **55**(8): 2920-2930. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14553>
- Ktenioudaki, A., E. Crofton, A. G. M. Scannell, J. A. Hannon, K. N. Kilcawley and E. Gallagher (2013). "Sensory properties and aromatic composition of baked snacks containing brewer's spent grain." *Journal of Cereal Science* **57**(3): 384-390. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.01.009>
- Landbrug og Fødevarer (2021). *Landsforsøgene 2021*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14553>
- Landbrugsstyrelsen. (2021). "Vi dyrker flere kartofler, men færre af dem havner på middagsbordet." Hentet 23.02.2023, fra <https://lbst.dk/nyheder/nyhed/nyhed/vi-dyrker-flere-kartofler-men-faerre-af-dem-havner-paa-middagsbordet/>.
- Langvad, S. (2023). "Protein i kosten." Hentet 13.02.2023, fra <https://www.ernaeringsfokus.dk/ernaering-sundhed/makronaeringsstoffer/protein/protein-i-kosten/>.
- Lassen, A. D., L. M. Christensen, S. Faqt and E. Trolle (2020). *RÅD OM BÆREDYGTIG KOST - fagligt grundlag for et supplement til De officielle Kostråd*. DTU Fødevareinstituttet, Afdeling for Risikovurdering og Ernæring.
- Linddahl, M. (2022). Fra svinefoder til babyernæring: Vestjysk gigant forvandler ostevalle til proteinpulver. *TV Midtvest*. [www.tvmidtvest.dk](http://www.tvmidtvest.dk), TV Midtvest. <https://www.tvmidtvest.dk/fast-arbejde/fra-svinefoder-til-babyernaering-vestjysk-gigant-forvandler-ostevalle-til-proteinpulver>
- Løbner, M. H., N. Alexi, L. Pedersen, M. R. Wilken and U. Kidmose (2022). *Forbrugsanalyse for bælgfrugter*. Aarhus Universitet.
- Malla, N., J. V. Nørgaard, H. N. Lærke, L.-H. L. Heckmann and N. Roos (2022). "Some Insect Species Are Good-Quality Protein Sources for Children and Adults: Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) Determined in Growing Pigs." *The Journal of Nutrition* **152**(4): 1042-1051. 10.1093/jn/nxac019
- Manevski, K., P. E. Lærke, J. E. Olesen and U. Jørgensen (2018). "Nitrogen balances of innovative cropping systems for feedstock production to future biorefineries." *Science of the Total Environment* **633**: 372-390. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.155>
- Mariotti, F. (2017). 35 - Plant Protein, Animal Protein, and Protein Quality. *Vegetarian and Plant-Based Diets in Health and Disease Prevention*. F. Mariotti, Academic Press: 621-642. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803968-7.00035-6>
- Marshall, E., N. G. T. Nair and FAO (2009). *Make money by growing mushrooms*. Rome.
- Martin, A. H., O. Castellani, G. A. de Jong, L. Bovetto and C. Schmitt (2019). "Comparison of the functional properties of RuBisCO protein isolate extracted from sugar beet leaves with commercial whey protein and soy protein isolates." *Journal of the Science of Food and Agriculture* **99**(4): 1568-1576. 10.1002/jsfa.9335
- Martin, A. H., M. Nieuwland and G. A. de Jong (2014). "Characterization of heat-set gels from RuBisCO in comparison to those from other proteins." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **62**(44): 10783-10791. 10.1021/jf502905g
- Mathai, J. K., Y. Liu and H. H. Stein (2017). "Values for digestible indispensable amino acid scores (DIAAS) for some dairy and plant proteins may better describe protein quality than values calculated using the concept for

- protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS)." *British Journal of Nutrition* **117**(4): 490-499. 10.1017/S0007114517000125
- Matthiessen, J., A. Biloft-Jensen, A. Stockmarr, S. Fagt and T. Christensen (2021) "Voksne danskeres kost- og aktivitetsvaner under den første nationale COVID-19 nedlukning i foråret 2020."
- McCarthy, A. L., Y. C. O'Callaghan, C. O. Piggott, R. J. FitzGerald and N. M. O'Brien (2013). "Brewers' spent grain; bioactivity of phenolic component, its role in animal nutrition and potential for incorporation in functional foods: a review." *Proceedings of the Nutrition Society* **72**(1): 117-125. 10.1017/S0029665112002820
- Mendes, M. C., S. Navalho, A. Ferreira, C. Paulino, D. Figueiredo, D. Silva, F. Gao, F. Gama, G. Bombo, R. Jacinto, S. S. Aveiro, P. S. C. Schulze, A. T. Gonçalves, H. Pereira, L. Gouveia, R. F. Patarra, M. H. Abreu, J. L. Silva, J. Navalho, J. C. S. Varela and L. G. Speranza (2022). "Algae as food in Europe: An overview of species diversity and their application." *Foods* **11**(13): 1871. <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/13/1871>
- Miklavčič Višnjevec, A., A. Tamayo Tenorio, A. C. Steenkjær Hastrup, N. M. L. Hansen, K. Peeters and M. Schwarzkopf (2021). "Glucosinolates and Isothiocyanates in Processed Rapeseed Determined by HPLC-DAD-qTOF." *Plants (Basel)* **10**(11). 10.3390/plants10112548
- Miljøstyrelsen (2019). Bedre udnyttelse af valle på mindre mejerier. Miljø- og Fødevareministeriet. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2019/02/978-87-7038-032-4.pdf>
- milkgenomics.org. (2021). "The Promise and Challenges of Producing Human Milk in the Lab. Splash issue #110." Hentet 23.02.2023, fra <https://www.milkgenomics.org/?splash=the-promise-and-challenges-of-producing-human-milk-in-the-lab>.
- Mordor Intelligence. (2021a). "Europe plant protein ingredients market - size, share, covid-19 impact and forecasts up to 2029." Hentet 27.01.2023, fra <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-plant-protein-ingredients-market>.
- Mordor Intelligence. (2021b). "Europe plant protein market." Hentet 27.01.2023, fra <https://www.mordorintelligence.com/vi/industry-reports/europe-plant-protein-market>.
- Mordor Intelligence (2022). Potato protein market - Growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2022 - 2027). <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/potato-protein-market>
- Mulder, W., C. van der Peet-Schwering, N. P. Hua and R. van Ree (2016). Proteins for food, feed and biobased applications: biorefining of protein containing biomass. IEA Bioenergy Task 42., <https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/proteins-for-food-feed-and-biobased-applications/>
- Mussatto, S. I. (2014). "Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications." *Journal of the Science of Food and Agriculture* **94**(7): 1264-1275. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6486>
- Mæhre, H. K., G. K. Edvinsen, K.-E. Eilertsen and E. O. Elvevoll (2016a). "Heat treatment increases the protein bioaccessibility in the red seaweed dulse (*Palmaria palmata*), but not in the brown seaweed winged kelp (*Alaria esculenta*)." *Journal of Applied Phycology* **28**(1): 581-590. 10.1007/s10811-015-0587-4
- Mæhre, H. K., I. J. Jensen and K. E. Eilertsen (2016b). "Enzymatic Pre-Treatment Increases the Protein Bioaccessibility and Extractability in Dulse (*Palmaria palmata*)." *Mar Drugs* **14**(11). 10.3390/md14110196
- Møller, A. H., M. Hammershøj, N. H. M. Dos Passos, H. Tanambell, L. Stødkilde, M. Ambye-Jensen, M. Danielsen, S. K. Jensen and T. K. Dalsgaard (2021). "Biorefinery of Green Biomass—How to Extract and Evaluate High Quality Leaf Protein for Food?" *J Agric Food Chem* **69**(48): 14341-14357. 10.1021/acs.jafc.1c04289
- Naseri, A., C. Jacobsen, J. J. P. Sejberg, T. E. Pedersen, J. Larsen, K. M. Hansen and S. L. Holdt (2020a) "Multi-Extraction and Quality of Protein and Carrageenan from Commercial *Spinosum* (*Eucheuma denticulatum*)." *Foods* **9** DOI: 10.3390/foods9081072.
- Naseri, A., G. S. Marinho, S. L. Holdt, J. M. Bartela and C. Jacobsen (2020b). "Enzyme-assisted extraction and characterization of protein from red seaweed *Palmaria palmata*." *Algal Research* **47**: 101849. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101849>
- Navarro, D. M. D. L., J. K. Mathai, N. W. Jaworski and H. H. Stein (2018). "Amino acid digestibility in six sources of meat and bone meal, blood meal, and soybean meal fed to growing pigs." *Canadian Journal of Animal Science* **98**(4): 860-867. 10.1139/cjas-2017-0217
- Neji, C., J. Semwal, M. H. Kamani, E. Máthé and P. Sipos (2022) "Legume Protein Extracts: The Relevance of Physical Processing in the Context of Structural, Techno-Functional and Nutritional Aspects of Food Development." *Processes* **10** DOI: 10.3390/pr10122586.
- Neori, A., F. E. Msuya, L. Shauli, A. Schuenhoff, F. Kopel and M. Shpigel (2003). "A novel three-stage seaweed (*Ulva lactuca*) biofilter design for integrated mariculture." *Journal of Applied Phycology* **15**(6): 543-553. 10.1023/B:JAPH.0000004382.89142.2d

- Nielsen, H. (2022a). Personlig meddelelse, mail af 02.12.2022. Muslingeprotein - hvordan ser det ud i dag? F. muslingeerhvervet.
- Nielsen, K. A. (2022b). Personlig meddelelse, mail af 02.12.2022. Muslingeprotein - hvordan ser det ud i dag? Blå Biomasse. Hedeselskabet.
- Nissen, S. H., J. M. Schmidt, S. Gregersen, M. Hammershøj, A. H. Møller, M. Danielsen, L. Stødkilde, C. Nebel and T. K. Dalsgaard (2021). "Increased solubility and functional properties of precipitated Alfalfa protein concentrate subjected to pH shift processes." *Food Hydrocolloids* **119**: 106874. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106874>
- Nordman, M., A. D. Lassen, L. Mogensen and E. Trolle (2022) "Carbon footprints of different dietary patterns in Denmark."
- Ntone, E., J. H. Bitter and C. V. Nikiforidis (2020). "Not sequentially but simultaneously: Facile extraction of proteins and oleosomes from oilseeds." *Food Hydrocolloids* **102**: 105598. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105598>
- Ntone, E., R. Kornet, P. Venema, M. B. J. Meinders, E. van der Linden, J. H. Bitter, L. M. C. Sagis and C. V. Nikiforidis (2022a). "Napins and cruciferins in rapeseed protein extracts have complementary roles in structuring emulsion-filled gels." *Food Hydrocolloids* **125**: 107400. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107400>
- Ntone, E., Q. Qu, K. P. Gani, M. B. J. Meinders, L. M. C. Sagis, J. H. Bitter and C. V. Nikiforidis (2022b). "Sinapic acid impacts the emulsifying properties of rapeseed proteins at acidic pH." *Food Hydrocolloids* **125**: 107423. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107423>
- Nørgaard, J. V., J. K. Petersen, D. B. Tørring, H. Jørgensen and H. N. Lærke (2015). "Chemical composition and standardized ileal digestibility of protein and amino acids from blue mussel, starfish, and fish silage in pigs." *Animal Feed Science and Technology* **205**: 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.04.005>
- Okuda, Y. (2022). "Sustainability perspectives for future continuity of mushroom production: The bright and dark sides." *Frontiers in Sustainable Food Systems* **6**. 10.3389/fsufs.2022.1026508
- Olesen, J. E., U. Jørgensen, J. E. Hermansen, S. O. Petersen, J. Eriksen, K. Søegaard, F. P. Vinther, L. Elsgaard, P. Lund, J. V. Nørgaard and H. B. Møller (2013). *Effekter af tiltag til reduktion af landbrugets udledninger af drivhusgasser*, Aarhus Universitet. <https://dcapub.au.dk/djfpdf/dcarapport27.pdf>
- Pabbathi, N. P. P., A. Velidandi, S. Pogula, P. K. Gandam, R. R. Baadhe, M. Sharma, R. Sirohi, V. K. Thakur and V. K. Gupta (2022). "Brewer's spent grains-based biorefineries: A critical review." *Fuel* **317**: 123435. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123435>
- Pedersen, A. N., T. Christensen, J. Matthiessen, V. K. Knudsen, M. Rosenlund-Sørensen, A. Biltoft-Jensen, H.-J. Hinsch, K. H. Ygil, K. Kørup, E. Saxholt, E. Trolle, A. B. Søndergaard and S. Fagt (2015). *Danskernes kostvaner 2011-2013*. DTU Fødevarerinstitutionen. <https://www.food.dtu.dk/publikationer>
- Pendrill, F., U. M. Persson, J. Godar, T. Kastner, D. Moran, S. Schmidt and R. Wood (2019). "Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions." *Global Environmental Change* **56**: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.03.002>
- Pereira, P. M. d. C. C. and A. F. d. R. B. Vicente (2013). "Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet." *Meat Science* **93**(3): 586-592. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.09.018>
- Persistence Market Research. (2022). "Mussel Market Size, Share, Trends and Analysis, 2022: Witnessing Tremendous Growth Rate at a CAGR of 2.7% to reach 2,688,613 tons by 2032. Market Study on Mussels: Consumption of Whole/Intact Form of Mussel to Remain High." Hentet 02.21.2022, fra <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/mussel-market.asp>.
- Petersen, J. K., A. Bruhn, J. W. Behrens, J. Dalskov, E. Larsen, M. Thomsen and M. Vinther (2021a). *Vidensyntese om blå biomasse. Potentialer for ny og bæredygtig anvendelse af havest biologiske ressourcer*, Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. [https://www.aqua.dtu.dk/-/media/Institutter/Aqua/Publikationer/Rapporter-352-400/387-2021\\_Vidensyntese-om-blaa-biomasse.ashx](https://www.aqua.dtu.dk/-/media/Institutter/Aqua/Publikationer/Rapporter-352-400/387-2021_Vidensyntese-om-blaa-biomasse.ashx)
- Petersen, J. K., K. Timmermann, A. Bruhn, M. B. Rasmussen, T. Bøderskov, H. J. Schou, M. Thomsen, A. Holbach, R. S. Tjørnløv, T. Lange, P. Canal-Vergés and M. R. Flindt (2021b). *Marine virkemidler: Potentialer og barrierer*, Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. <https://www.aqua.dtu.dk/-/media/Institutter/Aqua/Publikationer/Rapporter-352-400/385-2021-Marine-virkemidler-potentialer-og-barrierer.ashx>
- Phillips, S. M. (2017). "Current Concepts and Unresolved Questions in Dietary Protein Requirements and Supplements in Adults." *Frontiers in Nutrition* **4**. 10.3389/fnut.2017.00013

- Pintado, T. and G. Delgado-Pando (2020) "Towards More Sustainable Meat Products: Extenders as a Way of Reducing Meat Content." *Foods* **9** DOI: 10.3390/foods9081044.
- Poore, J. and T. Nemecek (2018). "Reducing food's environmental impacts through producers and consumers." *Science* **360**: 987-992.
- Precedence Research. (2022). "Protein Ingredients Market - Global industry analysis, size, share, growth, trends, regional outlook, and forecast 2022-2030." Hentet 17.01.2023, fra <https://www.precedenceresearch.com/protein-ingredients-market#:~:text=What%20is%20the%20current%20size,US%24%20114.6%20billion%20by%202030.>
- Przybylski, R., L. Bazinet, L. Firdaous, M. Kouach, J.-F. Goossens, P. Dhulster and N. Nedjar (2020). "Harnessing slaughterhouse by-products: From wastes to high-added value natural food preservative." *Food Chemistry* **304**: 125448. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125448>
- Przybylski, R., L. Firdaous, G. Châtaigné, P. Dhulster and N. Nedjar (2016). "Production of an antimicrobial peptide derived from slaughterhouse by-product and its potential application on meat as preservative." *Food Chem* **211**: 306-313. 10.1016/j.foodchem.2016.05.074
- Qazi, W. M., S. Ballance, K. Kousoulaki, A. K. Uhlen, D. M. M. Kleinegris, K. Skjånes and A. Rieder (2021). "Protein Enrichment of Wheat Bread with Microalgae: *Microchloropsis gaditana*, *Tetraselmis chui* and *Chlorella vulgaris*." *Foods* **10**(12): 3078. <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/12/3078>
- Rahate, K. A., M. Madhumita and P. K. Prabhakar (2021). "Nutritional composition, anti-nutritional factors, pretreatments-cum-processing impact and food formulation potential of faba bean (*Vicia faba* L.): A comprehensive review." *LWT* **138**: 110796. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110796>
- Reynolds, D., J. Caminiti, S. Edmundson, S. Gao, M. Wick and M. Huesemann (2022). "Seaweed proteins are nutritionally valuable components in the human diet." *The American Journal of Clinical Nutrition* **116**(4): 855-861. 10.1093/ajcn/nqac190
- Ritala, A., S. T. Häkkinen, M. Toivari and M. G. Wiebe (2017). "Single Cell Protein—State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001–2016." *Frontiers in Microbiology* **8**. 10.3389/fmicb.2017.02009
- Ritchie, H. and M. Roser (2019). "Land Use." *Our World in Data*. <https://ourworldindata.org/land-use>
- rm.dk. (2020). "Bryggeriernes restprodukt bliver til brød i Patientkøkkenets bageri." Hentet 21.04.2023, fra <https://www.rm.dk/om-os/aktuelt/nyheder/nyheder-2020/november-20/bryggeriernes-restprodukt-bliver-til-brod-i-patientkokkenets-bageri/>.
- Royse, D. J., J. Baars and Q. Tan (2017). Current Overview of Mushroom Production in the World. *Edible and Medicinal Mushrooms*: 5-13. <https://doi.org/10.1002/9781119149446.ch2>
- Safi, C., M. Charton, O. Pignolet, F. Silvestre, C. Vaca-Garcia and P.-Y. Pontalier (2013). "Influence of microalgae cell wall characteristics on protein extractability and determination of nitrogen-to-protein conversion factors." *Journal of Applied Phycology* **25**(2): 523-529. 10.1007/s10811-012-9886-1
- Sahithya, K., T. Mouli, B. Ankita and M. Mercy Scorlet (2022). "Remediation potential of mushrooms and their spent substrate against environmental contaminants: An overview." *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* **42**: 102323. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102323>
- Sanchez-Reinoso, Z., A. Cournoyer, J. Thibodeau, L. B. Said, I. Fliss, L. Bazinet and S. Mikhaylin (2021). "Effect of pH on the Antimicrobial Activity and Peptide Population of Pepsin Hydrolysates Derived from Bovine and Porcine Hemoglobins." *ACS Food Science & Technology* **1**(9): 1687-1701. 10.1021/acscfoodscitech.1c00141
- Schmidt, J. M. (2016). *Purification and functional properties of potato protein fractions*. PhD-thesis, Aarhus University. [https://pure.au.dk/portal/en/publications/purification-and-functional-properties-of-potato-protein-fractions\(34080704-92dd-42f6-99f6-44f5ddde192e\).html](https://pure.au.dk/portal/en/publications/purification-and-functional-properties-of-potato-protein-fractions(34080704-92dd-42f6-99f6-44f5ddde192e).html)
- Schmidt, J. M., H. Damgaard, M. Greve-Poulsen, L. B. Larsen and M. Hammershøj (2018). "Foam and emulsion properties of potato protein isolate and purified fractions." *Food Hydrocolloids* **74**: 367-378. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.07.032>
- Schweigert-Weisz, U., P. Eisner, S. Bader-Mittermaier and R. Osen (2020). "Food proteins from plants and fungi." *Current Opinion in Food Science* **32**: 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.08.003>
- Smetana, S., A. Mathys, A. Knoch and V. Heinz (2015). "Meat alternatives: life cycle assessment of most known meat substitutes." *The International Journal of Life Cycle Assessment* **20**(9): 1254-1267. 10.1007/s11367-015-0931-6

- Smetana, S., M. Sandmann, S. Rohn, D. Pleissner and V. Heinz (2017). "Autotrophic and heterotrophic microalgae and cyanobacteria cultivation for food and feed: life cycle assessment." *Bioresource Technology* **245**: 162-170. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.113>
- Sode, S., A. Bruhn, T. J. S. Balsby, M. M. Larsen, A. Gottfredsen and M. B. Rasmussen (2013). "Bioremediation of reject water from anaerobically digested waste water sludge with macroalgae (*Ulva lactuca*, Chlorophyta)." *Bioresource Technology* **146**: 426-435. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.062>
- Soladoye, P. O., M. Juárez, M. Estévez, Y. Fu and C. Álvarez (2022). "Exploring the prospects of the fifth quarter in the 21st century." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **21**(2): 1439-1461. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12879>
- Solati, Z., K. Manevski, U. Jørgensen, R. Labouriau, S. Shahbazi and P. E. Lærke (2018). "Crude protein yield and theoretical extractable true protein of potential biorefinery feedstocks." *Industrial Crops and Products* **115**: 214-226. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.010>
- Souza Filho, P. F. (2022). Chapter Five - Fungal protein. *Advances in Food and Nutrition Research*. J. Wu, Academic Press. **101**: 153-179. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.04.003>
- Statista (2021). Sales value of plant-based meat in Denmark from 2018 to 2020, by type. <https://www.statista.com/statistics/1265368/sales-value-of-plant-based-meat-in-denmark-by-type/>
- Statista (2022a). Forecast value of the protein ingredients market worldwide from 2021 to 2030 (in billion U.S. dollars). <https://www.statista.com/statistics/1177892/global-plant-based-protein-market-value/>
- Statista (2022b). Value of the whey protein market worldwide from 2021-2029 (in billion U.S. dollars). <https://www.statista.com/statistics/728005/global-whey-protein-market-size/>
- Stødkilde, L., V. K. Damborg, H. Jørgensen, H. N. Lærke and S. K. Jensen (2019). "Digestibility of fractionated green biomass as protein source for monogastric animals." *Animal* **13**(9): 1817-1825. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000156>
- Sun, L.-b., Z.-y. Zhang, G. Xin, B.-x. Sun, X.-j. Bao, Y.-y. Wei, X.-m. Zhao and H.-r. Xu (2020). "Advances in umami taste and aroma of edible mushrooms." *Trends in Food Science & Technology* **96**: 176-187. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.018>
- Sundhedsstyrelsen (2022). *Danskernes sundhed - Den nationale sundhedsprofil 2021*. Sundhedsstyrelsen. <https://www.sst.dk/-/media/Udgivelser/2022/Sundhedsprofil/Sundhedsprofilen.ashx>
- SusCellFood - Sustainable production of cultured meat and milk. fra [https://pure.au.dk/portal/da/projects/suscellfood--sustainable-production-of-cultured-meat-and-milk\(ec955431-f4a1-485e-95e2-dfd0c7e7399f\).html](https://pure.au.dk/portal/da/projects/suscellfood--sustainable-production-of-cultured-meat-and-milk(ec955431-f4a1-485e-95e2-dfd0c7e7399f).html).
- Tamburini, E., E. Turolla, M. Lanzoni, D. Moore and G. Castaldelli (2022). "Manila clam and Mediterranean mussel aquaculture is sustainable and a net carbon sink." *Science of The Total Environment* **848**: 157508. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157508>
- Tanambell, H., A. H. Møller, M. Corredig and T. K. Dalsgaard (2022). "RuBisCO from alfalfa - native subunits preservation through sodium sulfite addition and reduced solubility after acid precipitation followed by freeze-drying." *LWT* **154**: 112682. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112682>
- Teknologisk.dk. "Projekt - Grønne Grise - Svineproduktion og alger." Hentet 23.02.2023, fra <https://www.teknologisk.dk/projekter/projekt-groenne-grise-svineproduktion-og-alger/37369>.
- The Danish Morel Project. (2022). "thedanishmorelproject.com." fra <https://thedanishmorelproject.com/da/svampe-morkler/>.
- Tilman, D. and M. Clark (2014). "Global diets link environmental sustainability and human health." *Nature* **515**(7528): 518-522. <https://www.nature.com/articles/nature13959.pdf>
- Trigo, J. P., N. Engström, S. Steinhagen, L. Juul, H. Harrysson, G. B. Toth, H. Pavia, N. Scheers and I. Undeland (2021). "In vitro digestibility and Caco-2 cell bioavailability of sea lettuce (*Ulva fenestrata*) proteins extracted using pH-shift processing." *Food Chemistry* **356**: 129683. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129683>
- Tsugami, Y., N. Suzuki, M. Kawahara, T. Suzuki, T. Nishimura and K. Kobayashi (2020). "Establishment of an in vitro culture model to study milk production and the blood-milk barrier with bovine mammary epithelial cells." *Anim Sci J* **91**(1): e13355. 10.1111/asj.13355
- Tubb, C. and T. Seba (2021). "Rethinking Food and Agriculture 2020-2030: The Second Domestication of Plants and Animals, the Disruption of the Cow, and the Collapse of Industrial Livestock Farming." *Industrial Biotechnology* **17**(2): 57-72. 10.1089/ind.2021.29240.ctu

- Tuomisto, H. L., S. J. Allan and M. J. Ellis (2022). "Prospective life cycle assessment of a bioprocess design for cultured meat production in hollow fiber bioreactors." *Sci Total Environ* **851**(Pt 1): 158051. 10.1016/j.scitotenv.2022.158051
- Tuomisto, H. L. and M. J. Teixeira de Mattos (2011). "Environmental Impacts of Cultured Meat Production." *Environmental Science & Technology* **45**(14): 6117-6123. 10.1021/es200130u
- tvedemose.dk. (2022). "Økologiske svampe." Hentet 22.12.2022, fra <https://tvedemose.dk/om-tvedemose/okologi>.
- Tørngren, M. A. (2021). *Slutrapport - Alternativ anvendelse af blod*. Teknologisk Institut. <https://www.teknologisk.dk/projekter/alternativ-anvendelse-af-blod/41986>
- United Nations (2019). "World population prospects 2019: Highlights." *New York (US): United Nations Department for Economic and Social Affairs*.
- Ursu, A. V., A. Marcati, T. Sayd, V. Sante-Lhoutellier, G. Djelveh and P. Michaud (2014). "Extraction, fractionation and functional properties of proteins from the microalgae *Chlorella vulgaris*." *Bioresour Technol* **157**: 134-139. 10.1016/j.biortech.2014.01.071
- USDA. (2022). "Dairy markets at a glance." Hentet 19.12.2023, fra [https://www.ams.usda.gov/mnreports/md\\_da751.txt](https://www.ams.usda.gov/mnreports/md_da751.txt).
- van den Berg, L. A., J. J. Mes, M. Mensink and A. J. Wanders (2022). "Protein quality of soy and the effect of processing: A quantitative review." *Frontiers in Nutrition* **9**. 10.3389/fnut.2022.1004754
- van der Heide, M. E., N. F. Johansen, U. Kidmose, J. V. Nørgaard and M. Hammershøj (2021a). "The effect of deshelled and shell-reduced mussel meal on egg quality parameters of organic laying hens under commercial conditions." *Journal of Applied Poultry Research* **30**(1): 100119. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.100119>
- van der Heide, M. E., J. Nørgaard and R. Engberg (2021b). "Performance, nutrient digestibility and selected gut health parameters of broilers fed with black soldier fly, lesser mealworm and yellow mealworm." *Journal of Insects as Food and Feed* **7**(6): 1011-1022. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0150>
- van der Heide, M. E., L. Stødkilde, J. Værum Nørgaard and M. Studnitz (2021c). "The Potential of Locally-Sourced European Protein Sources for Organic Monogastric Production: A Review of Forage Crop Extracts, Seaweed, Starfish, Mussel, and Insects." *Sustainability* **13**(4): 2303. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/2303>
- Vestergaard, M., S. H. J. Chan and P. R. Jensen (2016). "Can microbes compete with cows for sustainable protein production - A feasibility study on high quality protein." *Scientific Reports* **6**(1): 36421. 10.1038/srep36421
- Vidal, A. R., R. L. Cansian, R. O. Mello, I. M. Demiate, A. P. Kempka, R. C. P. Dornelles, J. M. L. Rodriguez and P. C. B. Campagnol (2022). "Production of Collagens and Protein Hydrolysates with Antimicrobial and Antioxidant Activity from Sheep Slaughter By-Products." *Antioxidants (Basel)* **11**(6). 10.3390/antiox11061173
- Vincent, A., A. Stanley and J. Ring (2020). "Hidden champion of the ocean: Seaweed as a growth engine for a sustainable European future." *Seaweed for Europe*. <https://www.seaweedeurope.com/wp-content/uploads/2020/10/Seaweed-for-Europe-Hidden-Champion-of-the-ocean-Report.pdf>
- Vismann, B. (2021). *INPROFEED - Miljø-arbejdspakken*. <https://www.hedeselskabet.dk/sites/hedeselskabet.dk/files/2021-01/Notat%20fra%20K%C3%B8benhavn%20Universitet%20om%20resultaterne%20fra%20INPROFEED%20milj%C3%B8-arbejdspakke.pdf>
- Walter, L., R. Fry, A. Logan and B. J. Leury (2020). "Investigation on the suitability of milk-derived primary bovine mammary epithelial cells grown on permeable membrane supports as an in vitro model for lactation." *In Vitro Cell Dev Biol Anim* **56**(5): 386-398. 10.1007/s11626-020-00457-2
- Wanasundara, J. P., T. C. McIntosh, S. P. Perera, T. S. Withana-Gamage and P. Mitra (2016). "Canola/rapeseed protein-functionality and nutrition." *OCL* **23**(4): D407. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016028>
- Wang, M. and R. Zhao (2023). "A review on nutritional advantages of edible mushrooms and its industrialization development situation in protein meat analogues." *Journal of Future Foods* **3**(1): 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.09.001>
- Wang, Y., S. M. Tibbetts, F. Berrue, P. J. McGinn, S. P. MacQuarrie, A. Puttaswamy, S. Patelakis, D. Schmidt, R. Melanson and S. E. MacKenzie (2020). "A Rat Study to Evaluate the Protein Quality of Three Green Microalgal Species and the Impact of Mechanical Cell Wall Disruption." *Foods* **9**(11). 10.3390/foods9111531
- Waters, D. M., F. Jacob, J. Titze, E. K. Arendt and E. Zannini (2012). "Fibre, protein and mineral fortification of wheat bread through milled and fermented brewer's spent grain enrichment." *European Food Research and Technology* **235**: 767-778. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1805-9>



- Weide, R. Y. v. d., R. Schipperus and W. v. Dijk (2014). *Algae cultivation using digestate as nutrient source: opportunities and challenges*. <https://edepot.wur.nl/316948>
- Williams, R. A. (2021). "Opportunities and Challenges for the Introduction of New Food Proteins." *Annu Rev Food Sci Technol* **12**: 75-91. 10.1146/annurev-food-061220-012838
- Witte, B., O. Przemek, S. Koktenturk, B. Morach, M. Brigl, J. Rogg, U. Schulze, D. Walker, E. V. Koeller, N. Dehnert and F. Grosse-Holz (2021). *Food for thought - The protein transformation*. Boston Consulting Group. <https://web-assets.bcg.com/a0/28/4295860343c6a2a5b9f4e3436114/bcg-food-for-thought-the-protein-transformation-mar-2021.pdf>
- Yaghubi, E., S. Carboni, R. M. J. Snipe, C. S. Shaw, J. J. Fyfe, C. M. Smith, G. Kaur, S.-Y. Tan and D. L. Hamilton (2021) "Farmed Mussels: A Nutritive Protein Source, Rich in Omega-3 Fatty Acids, with a Low Environmental Footprint." *Nutrients* **13** DOI: 10.3390/nu13041124.
- Yang, J., I. Faber, C. C. Berton-Carabin, C. V. Nikiforidis, E. van der Linden and L. M. C. Sagis (2021). "Foams and air-water interfaces stabilised by mildly purified rapeseed proteins after defatting." *Food Hydrocolloids* **112**: 106270. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106270>
- Zeng, Y., E. Chen, X. Zhang, D. Li, Q. Wang and Y. Sun (2022). "Nutritional Value and Physicochemical Characteristics of Alternative Protein for Meat and Dairy—A Review." *Foods* **11**(21): 3326. <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/21/3326>
- Zhang, X., T. Boderskov, A. Bruhn and M. Thomsen (2022). "Blue growth and bioextraction potentials of Danish *Saccharina latissima* aquaculture — A model of eco-industrial production systems mitigating marine eutrophication and climate change." *Algal Research* **64**: 102686. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102686>
- Zhao, J., J. Chen, D. Beillouin, H. Lambers, Y. Yang, P. Smith, Z. Zeng, J. E. Olesen and H. Zang (2022). "Global systematic review with meta-analysis reveals yield advantage of legume-based rotations and its drivers." *Nature Communications* **13**(1): 4926. 10.1038/s41467-022-32464-0
- Östbring, K., E. Malmqvist, K. Nilsson, I. Rosenlind and M. Rayner (2020). "The Effects of Oil Extraction Methods on Recovery Yield and Emulsifying Properties of Proteins from Rapeseed Meal and Press Cake." *Foods* **9**(1): 19. <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/1/19>

## Bilag 1

**Tabel B1** Relativ forskel i klimaaftryk og arealanvendelse for forskellige kostformer i forhold til den nationale gennemsnitlige kost. Værdier er angivet som median med interquartil range (IQR). Tabel og tabeltekst er taget fra Lassen et al. (2020).

Kostformer	Klimaaftryk (% ændring ift. gennemsnitlig kost)	Arealanvendelser (% ændring ift. gennemsnitlig kost)
Vegansk	Median: -45%, IQR: -36%; -53%, n=14 <sup>1</sup> Median: -49%, IQR: -23%; -89%, n=20 <sup>2</sup>	Median: -55%, IQR: -44%; -78%, n=6 <sup>1</sup> Median: -50%, IQR: -29%; -80%, n=10 <sup>2</sup>
Vegetarisk (lakto-ovo-vegetarisk)	Median: -31%, IQR: -22%; -38%, n=20 <sup>1</sup> Median: -35%, IQR: -13%; -85%, n=29 <sup>2</sup>	Median: -51%, IQR: -28%; -67%, n=7 <sup>1</sup> Median: -42%, IQR: -27%; -74%, n=10 <sup>2</sup>
Kød og mejeriprodukter delvis erstattet med plante-baserede fødevarer	Median: -31%, IQR: -26%; -35%, n=5 <sup>1</sup>	Median: -16%, IQR: -13%; -42%, n=3 <sup>1</sup>
Pescetarkost	Median: -27%, IQR: -24%; -31%, n=6 <sup>1</sup>	Median: -39%, IQR: -31%; -54%, n=4 <sup>1</sup>
Kostråd med yderligere optimering	Median: -27%, IQR: -20%; -35%, n=16 <sup>1</sup>	Median: -20%, IQR: -32%; -40%, n=10 <sup>1</sup>
Kød fra drøvtyggere erstattet med kød fra en-mavede dyr	Median: -21%, IQR: -9%; -26%, n=6 <sup>1</sup>	Median: -37%, IQR: -3%; -39%, n=3 <sup>1</sup>
Følger kostråd	Median: -12%, IQR: -2%; -16%, n=21 <sup>1</sup>	Median: -20%, IQR: -16%; -26%, n=10 <sup>1</sup>
Balanceret energiindtag	Median: -6%, IQR: -2%; -11%, n=6 <sup>1</sup>	Median: -3%, IQR: -2%; -4%, n=2 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Aleksandrowicz et al. (2016), <sup>2</sup> Fresán and Sabaté (2019)

## **Om DCA**

DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug er den faglige indgang til jordbrugs- og fødevarerforskningen ved Aarhus Universitet.

Centret omfatter institutter og forskningsmiljøer, der har aktiviteter på jordbrugs- og fødevarerområdet. Det er primært Institut for Agroøkologi, Institut for Husdyrvidenskab, Institut for Fødevarer, Center for Kvantitativ Genetik og Genomforskning samt dele af Institut for Ingeniørvidenskab.

Aktiviteterne i DCA understøttes af en centerenhed, der varetager og koordinerer opgaver omkring myndighedsbetjening, erhvervs- og sektorsamarbejde, internationalt samarbejde og kommunikation.

## **Forskningsresultater fra DCA**

Resultater fra forskningen publiceres i internationale, videnskabelige tidsskrifter. Publikationerne kan findes via universitets publikationsdatabase ([pure.au.dk](http://pure.au.dk)).

## **DCA rapporter**

DCAs rapportserie formidler hovedsageligt myndighedsrådgivning fra DCA til Miljø- og Fødevareministeriet. Der kan også udgives rapporter, som formidler viden fra forskningssaktiviteter. Rapporterne kan frit hentes på centrets hjemmeside: [dca.au.dk](http://dca.au.dk).

## **Nyhedsbreve**

DCA udsender et nyhedsbrev, der løbende orienterer om jordbrugs- og fødevarerforskningen og herunder om nye forskningsresultater, rådgivning, uddannelse, arrangementer og andre aktiviteter. Det er gratis at tilmelde sig nyhedsbrevet, og det kan ske på [dca.au.dk](http://dca.au.dk).



## RESUME

Der er et stigende behov for protein i Danmark og på verdensplan. For at imødekomme proteinbehovet på bæredygtig vis, har vi brug for nye produktionssystemer.

Denne rapport indeholder en faglig beskrivelse af udviklingen af grønne og alternative proteiner til fødevarer, herunder angivelse af status i Danmark samt forventede fremtidige potentialer. Både alternative animalske og vegetabiliske fødevarerproteiner er beskrevet og der er fokuseret på modenheden af teknologien for de enkelte alternative kilder, proteinkvalitet i forhold til funktionelle og sensoriske egenskaber, ernæringsværdi i form af proteinfordøjelighed og potentielt indhold af antinæringsstoffer samt proteinkildernes indvirkning på klima og miljø, hvor det har været muligt. I rapporten findes 15 datablade, der beskriver forskellige alternative proteinkilder, inddelt i følgende overordnede kategorier: Landbaserede biomasser, marine biomasser, sidestrømme af eksisterende fødevarerproduktioner, mikrobiel fermentering, mammale celler, samt insekter.

Rapporten giver desuden en generel introduktion til proteinforsyning, udvikling i kost- og proteinindtag i Danmark, forbrugerpræferencer og proteinforbrugets effekt på klima og miljø.

